Qualitätskriterium Bauteilsauberkeit im prozessorientierten Ansatz

Fachforum parts2clean

12. Internationalen Leitmesse für industrielle Teile- und Oberflächenreinigung

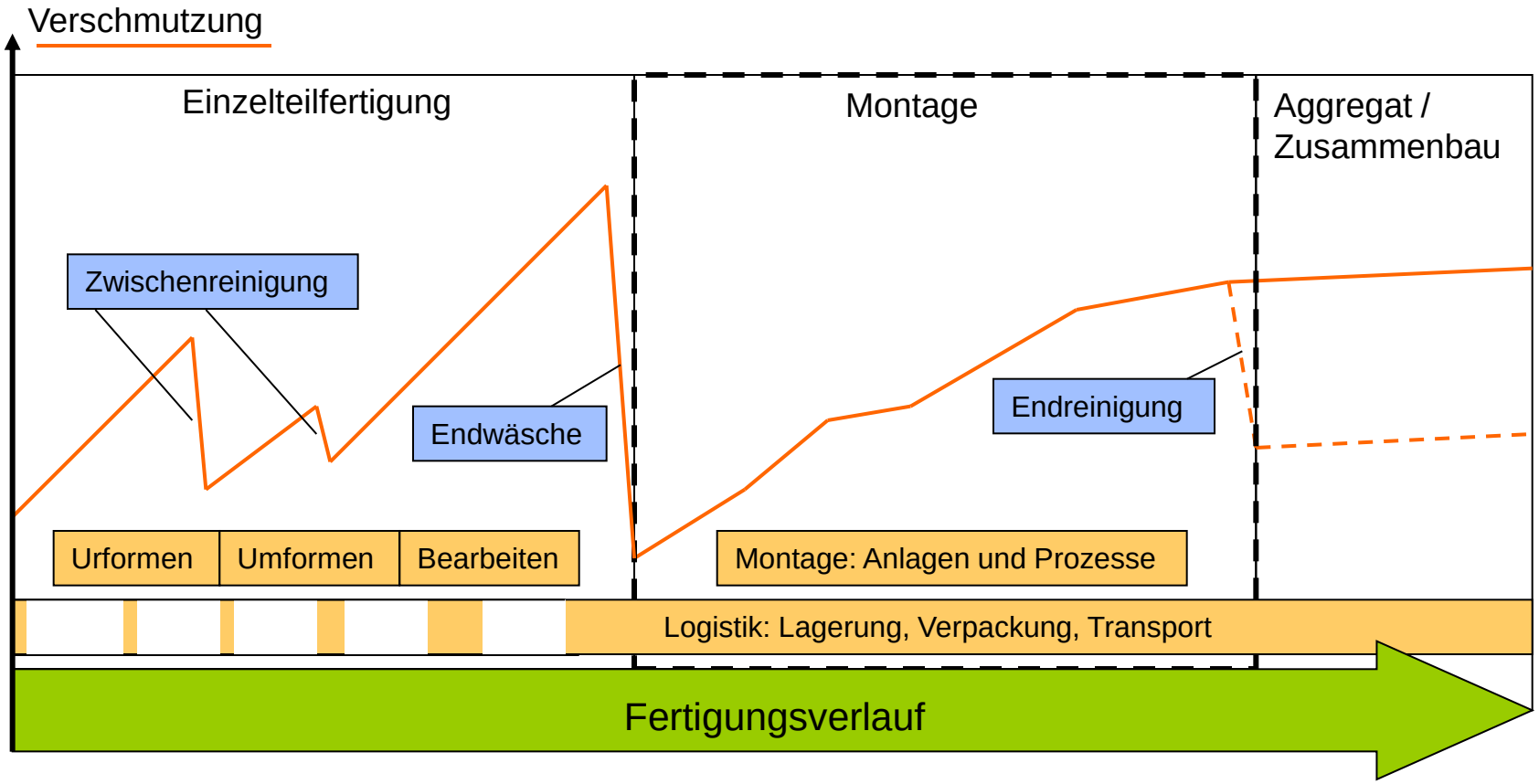
24. Juni 2014, Neue Messe Stuttgart

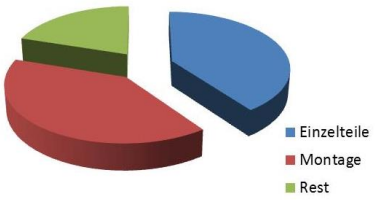
Dr.-Ing. Markus Rochowicz

Fraunhofer IPA, Reinst- und Mikroproduktion

Fraunhofer IPA

Technische Sauberkeit im Fertigungsverlauf (VDA 19 Teil 2)

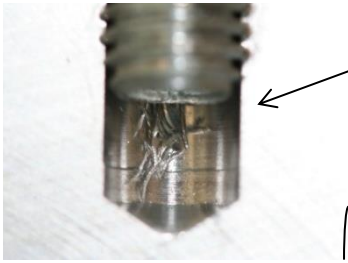




Wo kommen Schutzpartikel typischerweise her?

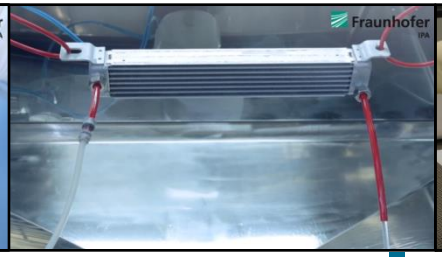
Von 100% Partikelschmutz im Endaggregat entfallen

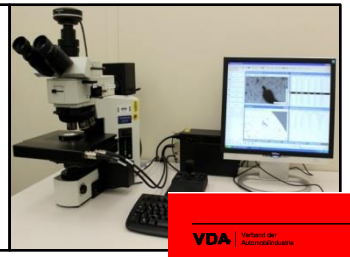
- 40% auf die Einzelteile
- 40% auf die Montageprozesse
- 20% auf die restlichen Einflüsse (Umgebung, Personal, Logistik)



Quelle: Nehrling

Überwachung der Technischen Sauberkeit

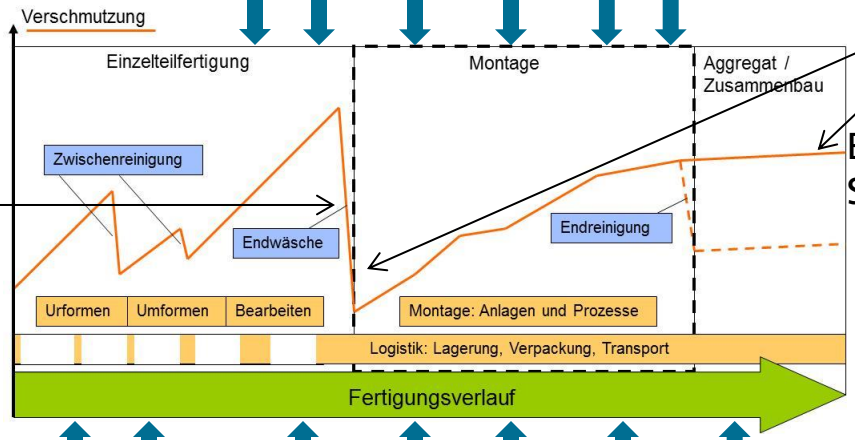




Prozessüberwachung

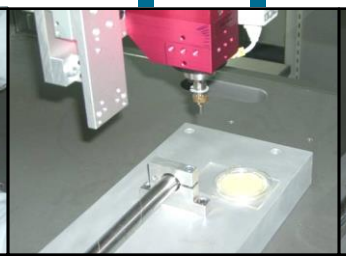
Überwachung Reinigungsanlage (Schlüsselprozess):

- Zustand Bäder
- Prozessparameter



Bauteilüberwachung: Sauberkeitsspezifikation

Prozessüberwachung



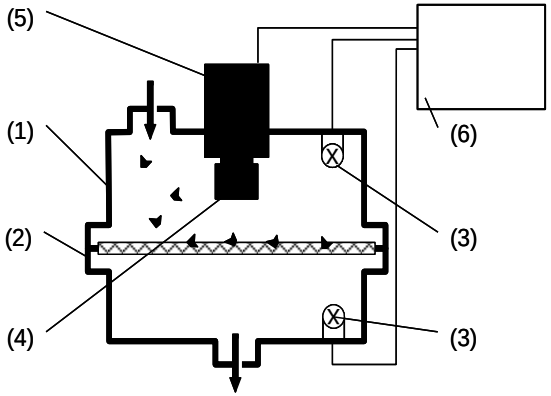
Dr.-Ing. Markus Rochowicz

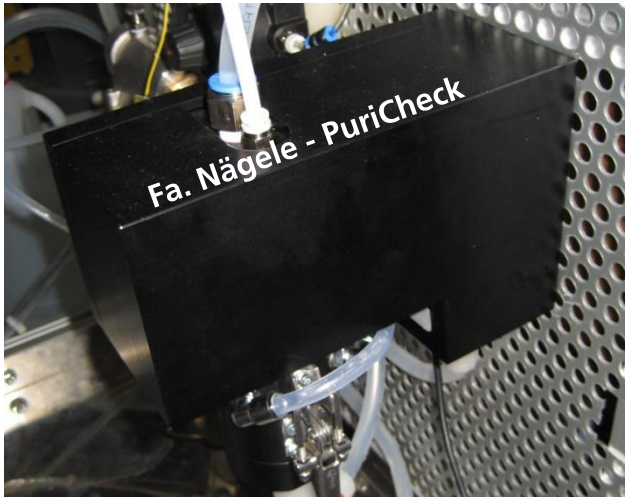
Fraunhofer IPA

Beispiel 1: PuriCheck – Siebblockade optisch

Technische Daten

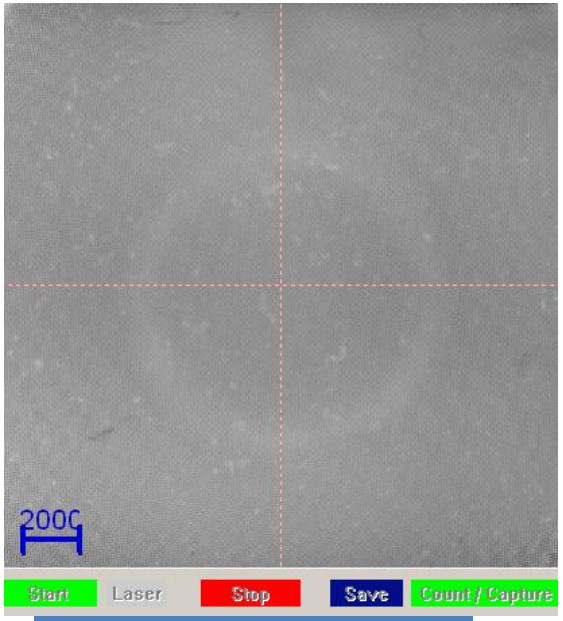
- Partikeldetektion ab 100 µm direkt im Medienkreislauf (hydr. System)
- Morphologische Charakterisierung der Partikel möglich
- Messvolumenstrom ca. 20 l/min
- keine Beeinflussung der Messung durch Luftblasen sowie nichtgelöste Fette oder Öle
- Rückspülung und Austrag der Partikel aus dem System
- Archivierung von Partikelbildern möglich



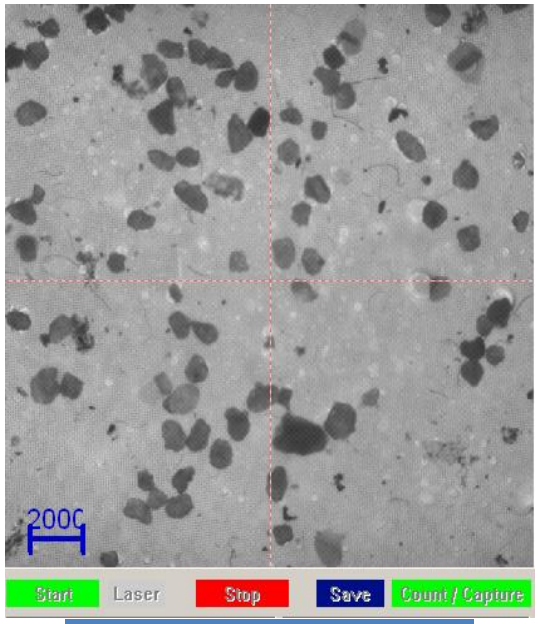


Beispiel 1: PuriCheck – Siebblockade optisch

Digitale Bildauswertung der Partikel im Medienkreislauf



Beginn der Messung



Ende des Messzyklus

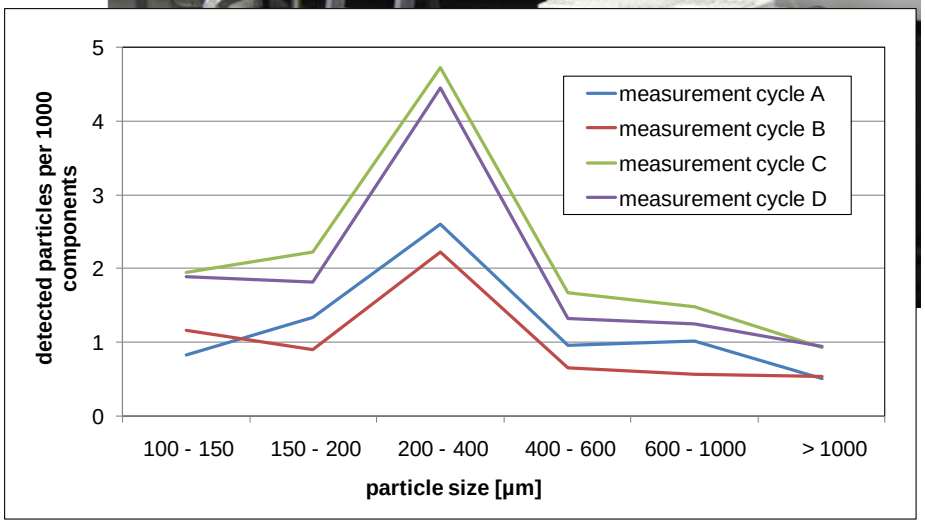
Größe [µm]	Anzahl
100 - 150	62
150 - 200	9
200 - 400	5
400 - 600	0
600 - 1000	1
> 1000	0

Partikelgrößen-klassen nach VDA 19

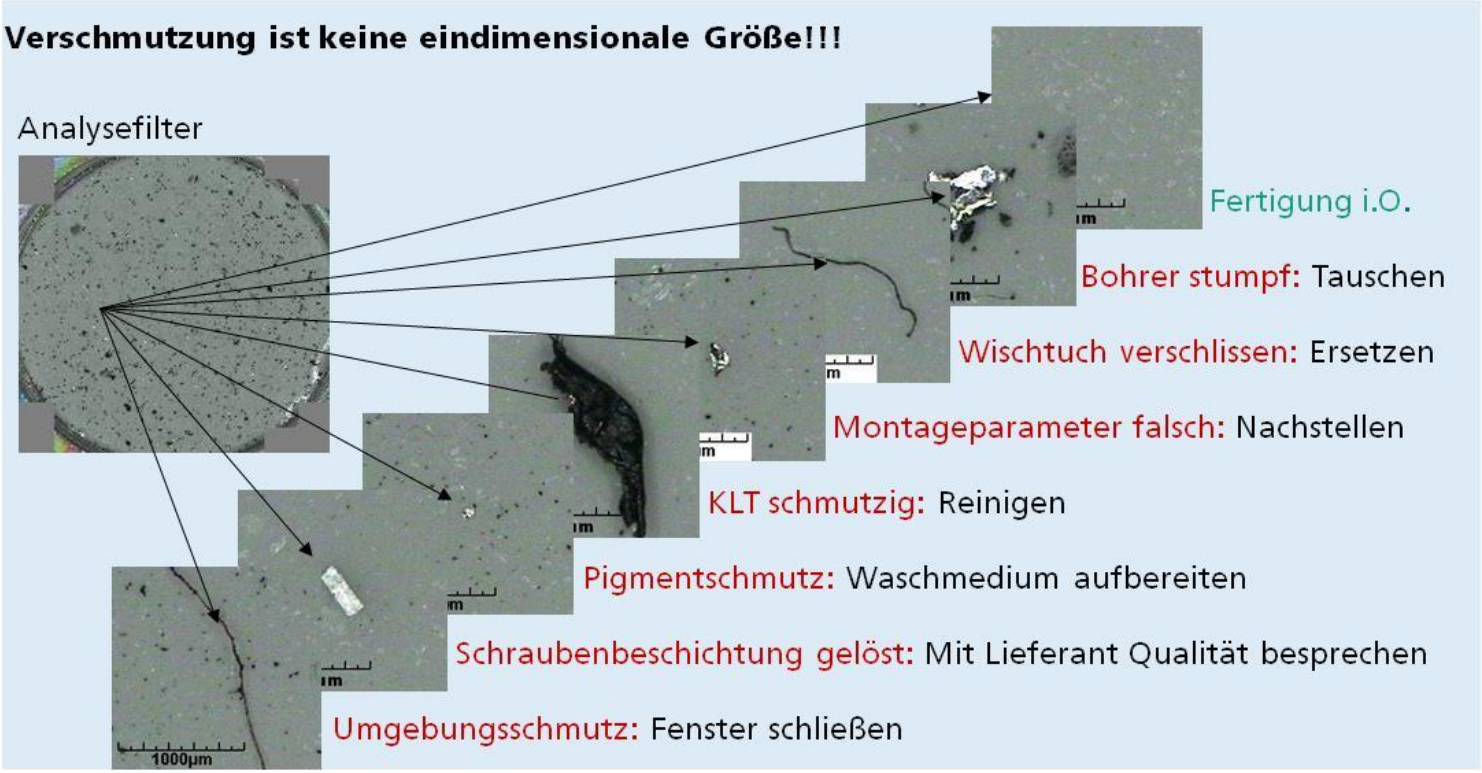
Beispiel: PuriCheck – Siebblockade optisch

Anwendungsbeispiel – Überwachung der Spülkammer einer Reinigungsanlage

- Anschluss des Analysemoduls an die letzte **Spülkammer** der Anlage
- Probenahme-Volumenstrom: 20 l/min Probenahmeeinheit im Rücklauf vor Filter
- Verlustfreie Zuführung der Partikel zum PuriCheck-Sensor
- kumulative Bestimmung der Partikel-Anzahl über festgelegte Zyklen
- Auswertung der Werte pro gereinigte Teile im Messzylus

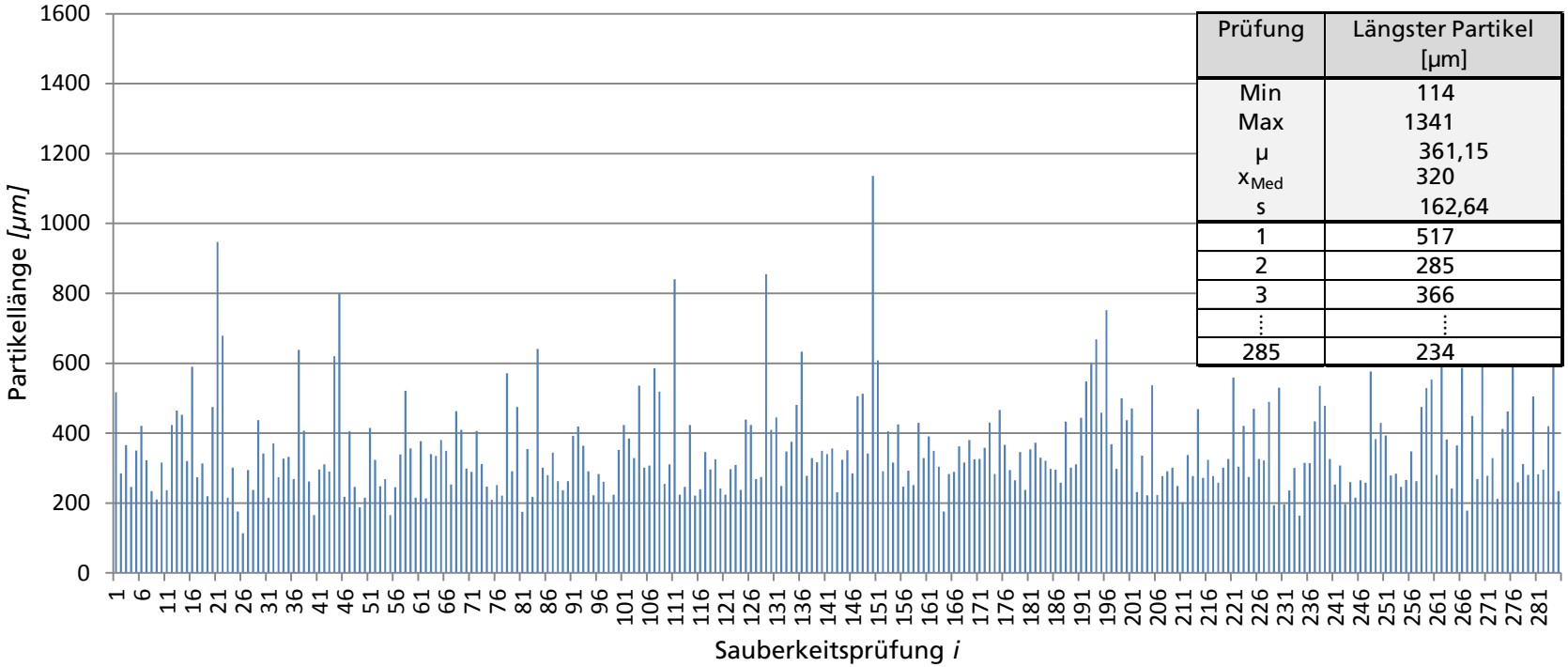


…nur einige Beispiele



Beispiel für Prozessüberwachung

Längster Partikel, 281 Messungen

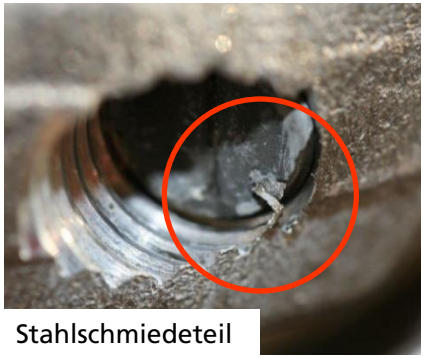


Prüfung	Längster Partikel [µm]
Min	114
Max	1341
µ	361,15
x_{Med}	320
s	162,64
1	517
2	285
3	366
⋮	⋮
285	234

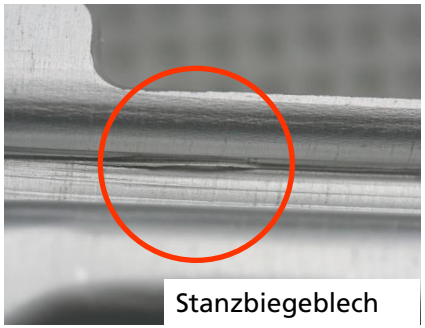
Welches Merkmal lässt sich gut Überwachen?

Längster Partikel

Späne



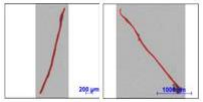
Stahlschmiedeteil

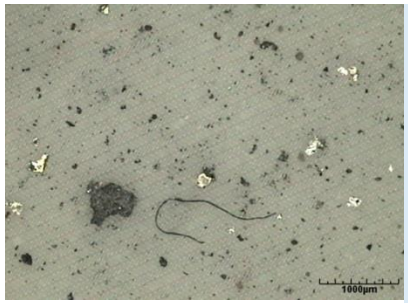


Stanzbiegeblech

Fasern

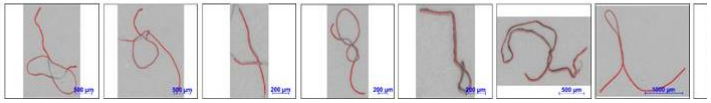
gerade Faser





geschwungene Faser

Faserknäuel



- allgegenwärtig
- oft nicht funktionskritisch
- sichere Erkennung wichtig

=> Einheitliches Faserkriterium

längster Partikel:

- oft spezifiziert
- prozessabhängig aber Länge oft nicht beherrscht (Spanlänge, Filtergängigkeit)

alternativ:

- Überwachung der Breite
- Zusätzlich kleinere Partikel überwachen

wichtig:

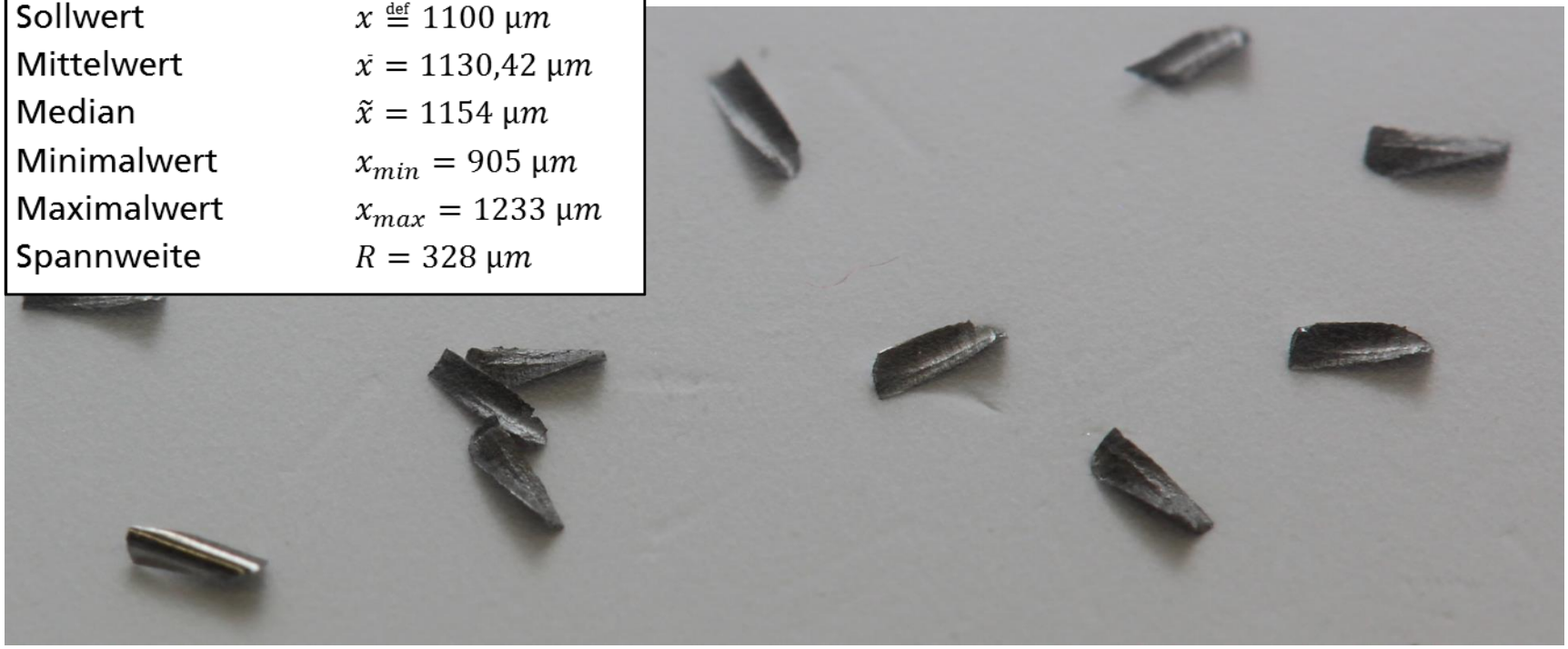
- (Textil-) Fasern regeln oder ausnehmen

Welches Merkmal lässt sich gut Überwachen?

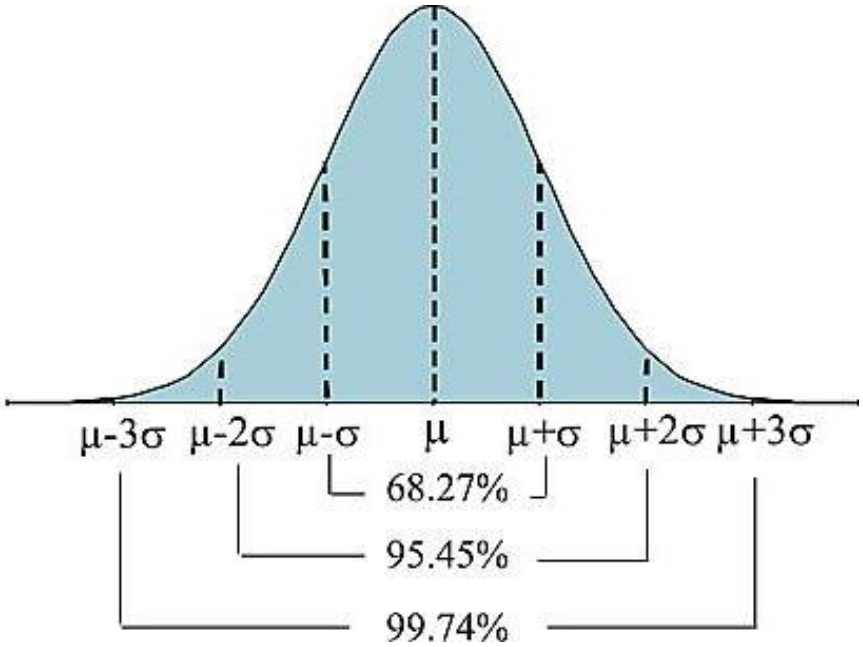
Längster Partikel

Durch Präzisionszerspanung definiert hergestellte Späne (ISF Dortmund)

Stichprobe	$n = 112$
Sollwert	$x \stackrel{\text{def}}{=} 1100\ \mu m$
Mittelwert	$\bar{x} = 1130{,}42\ \mu m$
Median	$\tilde{x} = 1154\ \mu m$
Minimalwert	$x_{min} = 905\ \mu m$
Maximalwert	$x_{max} = 1233\ \mu m$
Spannweite	$R = 328\ \mu m$



Wie verhält sich ein Merkmal im Prozess in Relation zu Toleranzen (Grenzwerten)



-∞ ⟷ 84,14%

-∞ ⟷ 97,73%

-∞ ⟷ 99,87%

beherrscht und fähig!

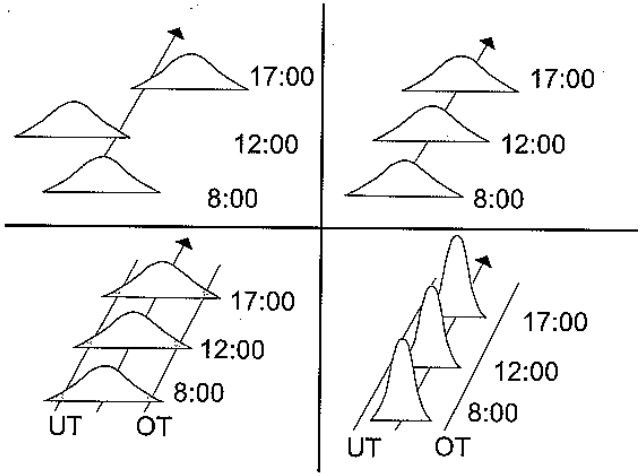
Abbildung 8.5-27:
Stabilität und Fähigkeit eines Prozesses

nicht beherrscht

beherrscht

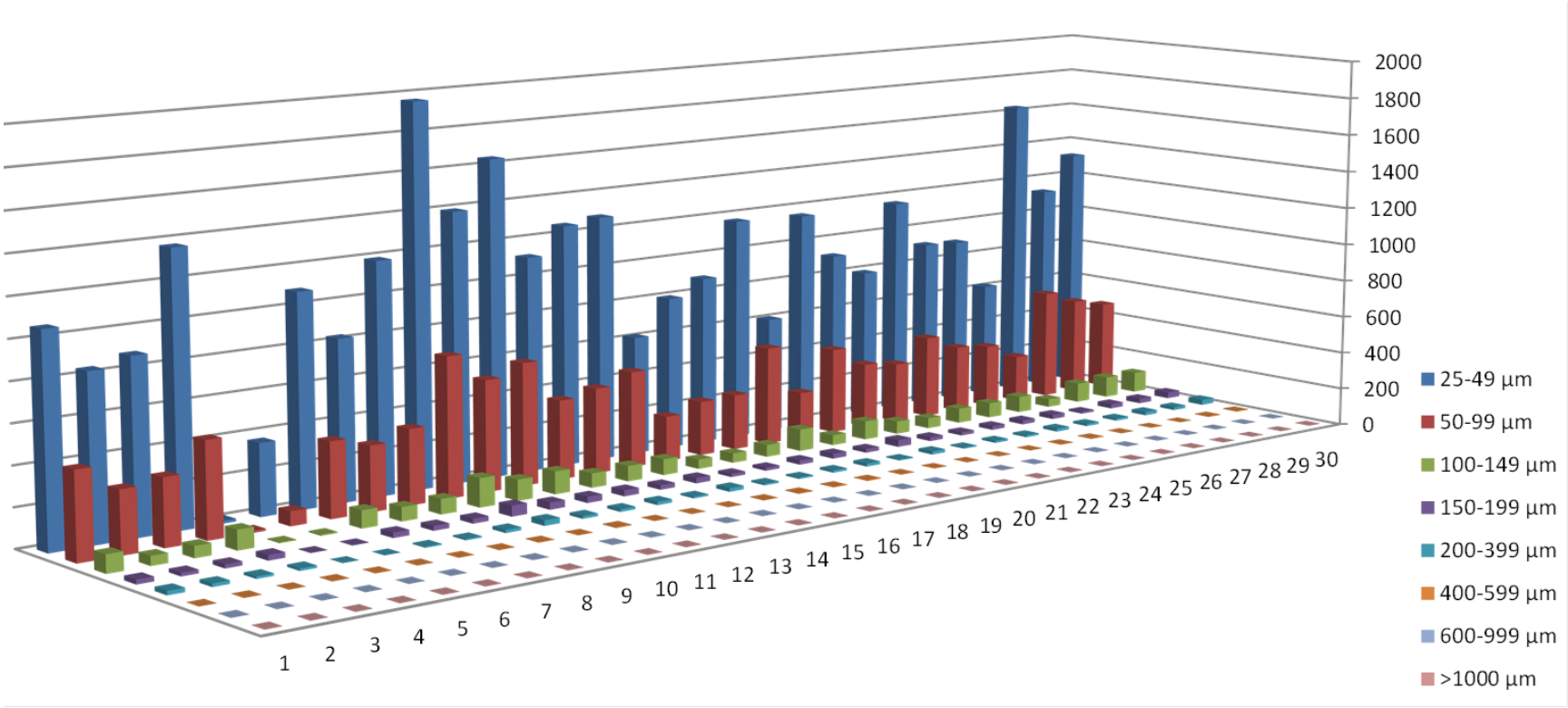
beherrscht aber nicht fähig

beherrscht und fähig

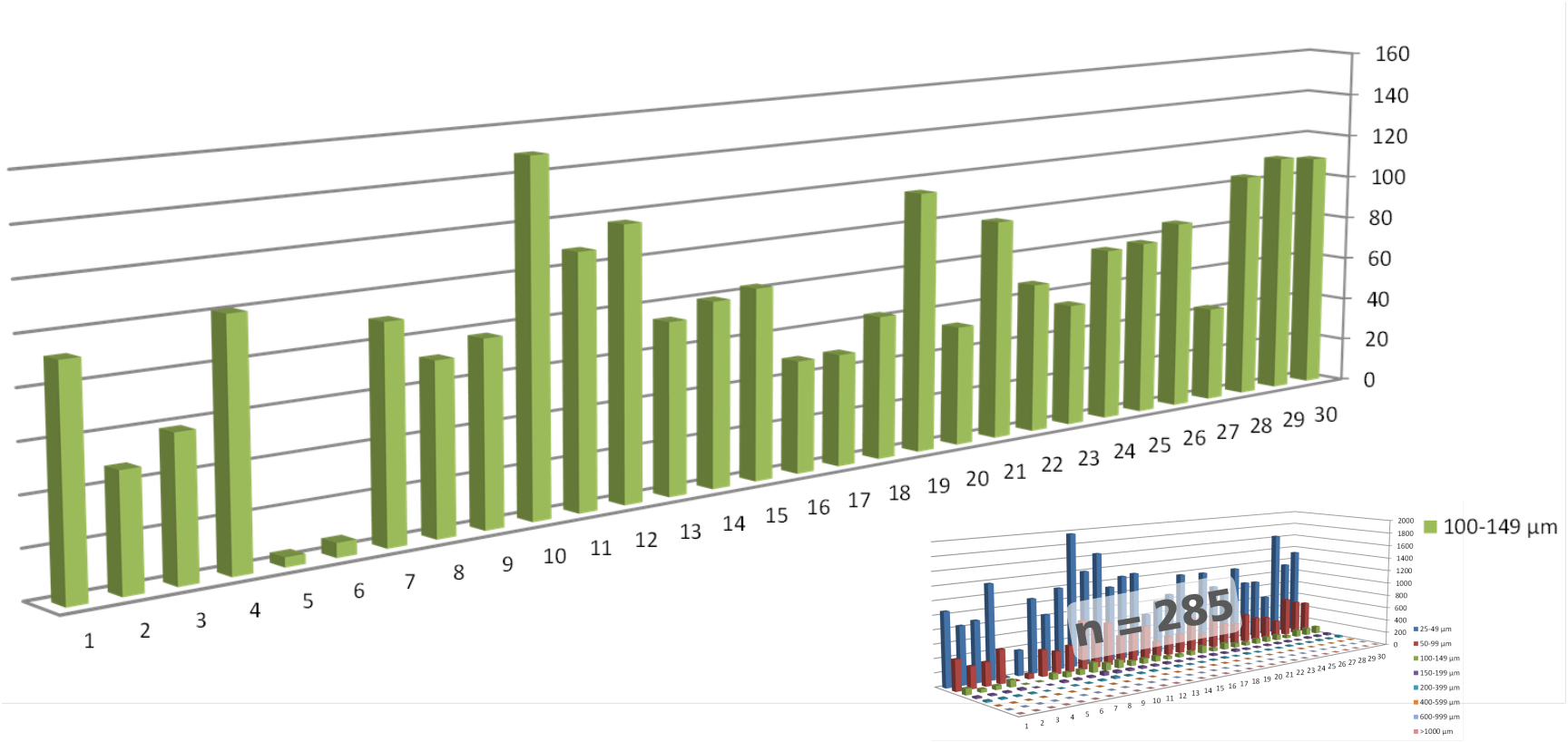


Legende:
OT = obere Toleranz
UT = untere Toleranz

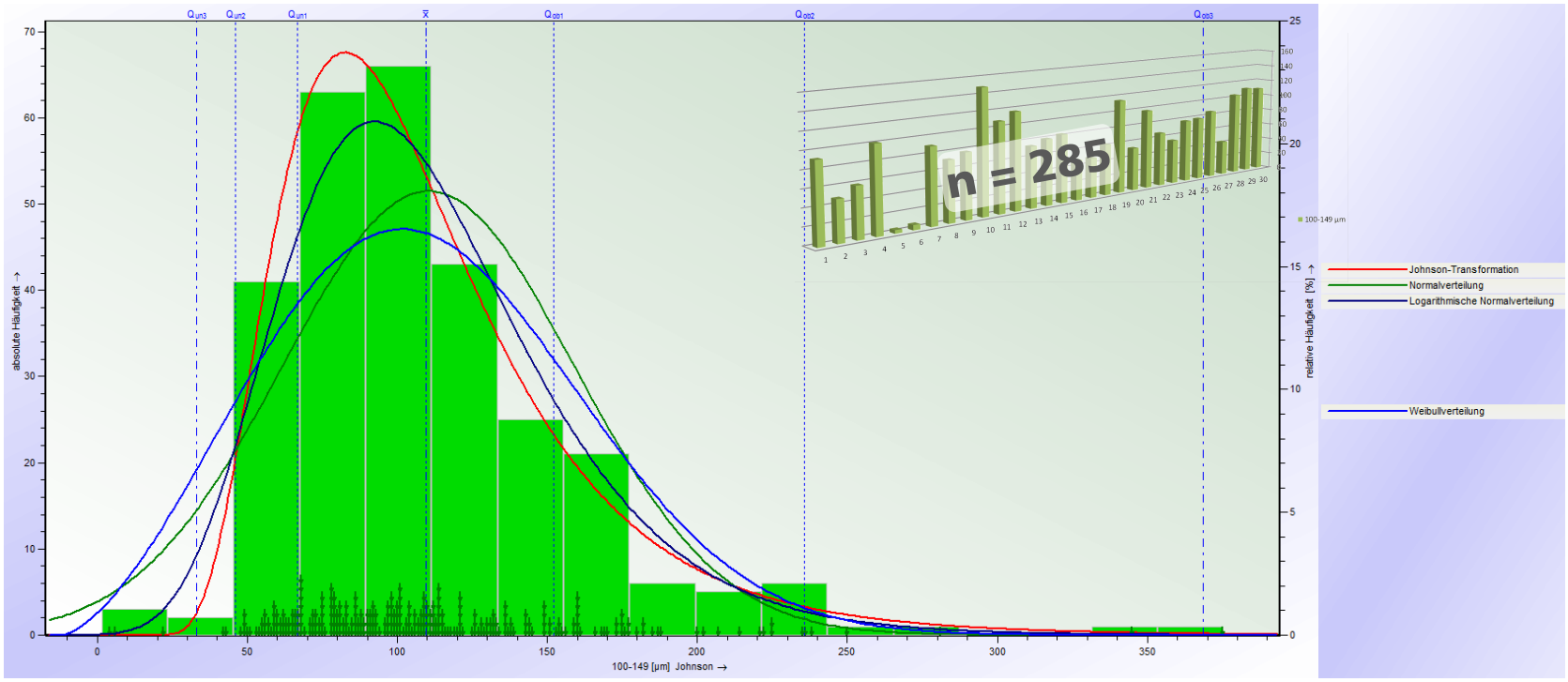
Partikelgrößenverteilung



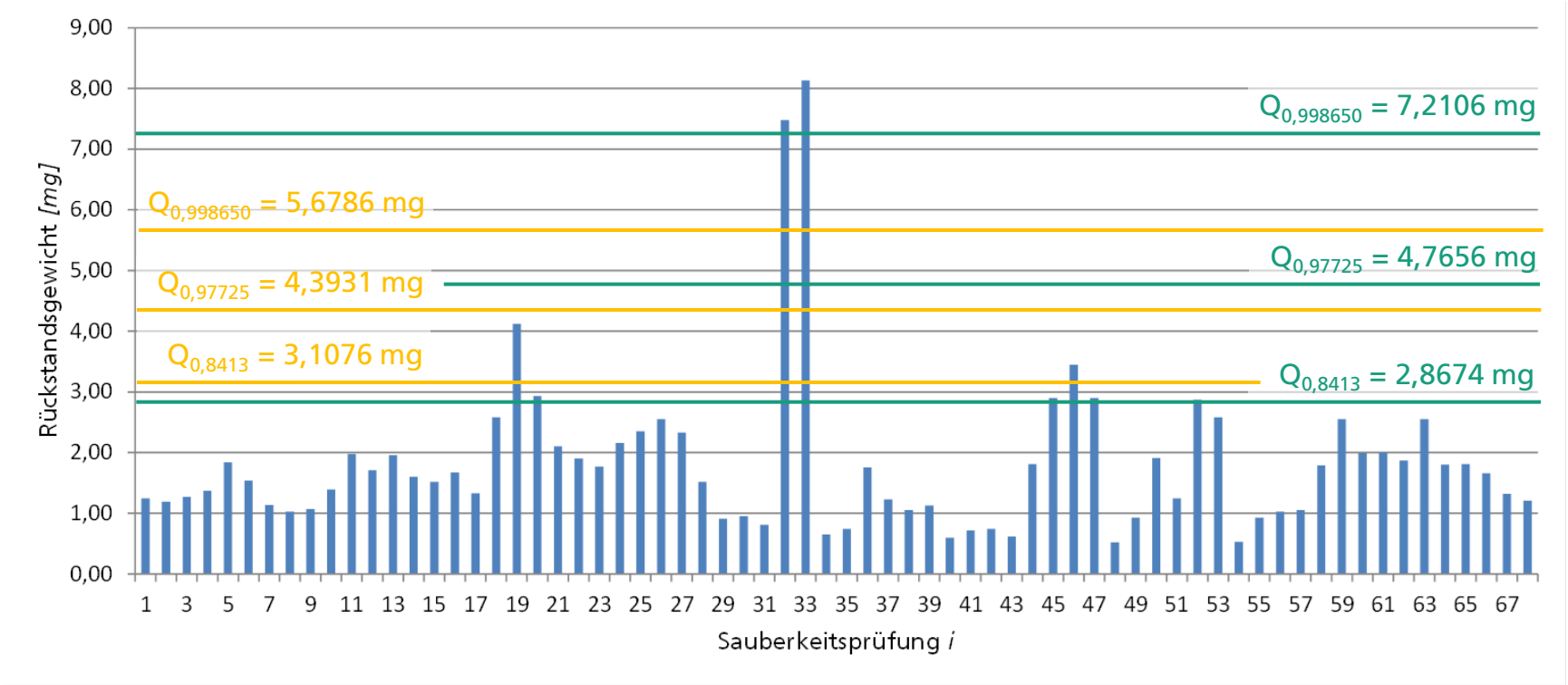
Beispiel: Verlauf eines Partikelgrößenkanals



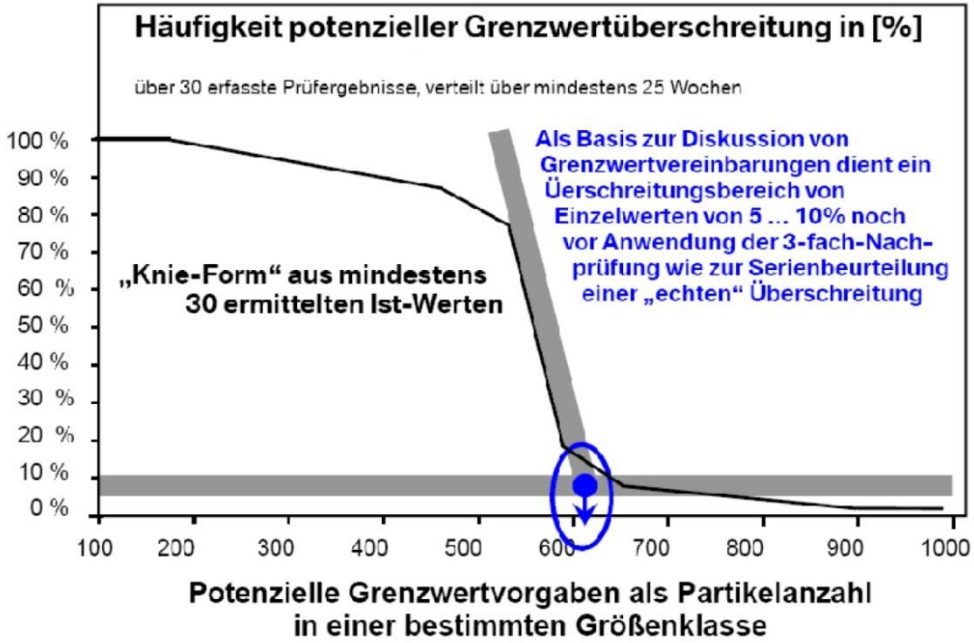
Partikelgrößenverteilung, Größenklasse F (100-149µm)



Beispiel Rückstandsgewicht: Quantile als Grenzwerte (WV + NV)



Beispiele zweier Automobilhersteller



Quelle: BMW Qualitätsvorschrift QV 11111

Zeichnungseintrag

DBL 6516.20 (stark funktionskritisches Bauteil)
Eskalationsstufe B
Prüfreinigungsverfahren: Ultraschallreinigung - DBL 6515
Partikelgrößenverteilung:

Partikelgröße [µm]	[max. Partikelanzahl/Größenklasse]
100 bis 200 µm	250
200 bis 400 µm	25
400 bis 600 µm	0,1 *)
> 600 µm	0

*) max. Partikelgröße: 500 µm

Quelle: Mercedes

Technische Sauberkeit und Prozessfähigkeit

Bei der heutigen Prozessstabilität im Bereich der Technischen Sauberkeit und der Lage vieler Sauberkeitsgrenzwerte ist zu rechnen mit:

- 5-10% Grenzwertüberschreitungen
- 1-2σ
- C_{pk}-Werten meist < 0,5

Andererseits fallen System nicht sofort aus, wenn ein Sauberkeitsgrenzwert überschritten wird aber die Wahrscheinlichkeit steigt. Für einen Ausfall muss nicht nur die kritische Partikelverunreinigung im System vorhanden sein, sondern sich auch zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort befinden.

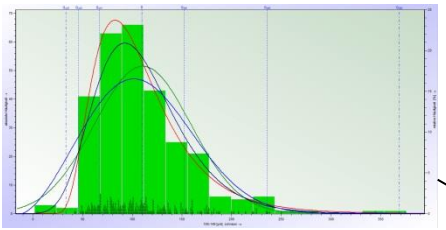
=> Sauberkeitsgrenzwerte sind Eingriffsgrenzen keine Toleranzgrenzen

Fazit:

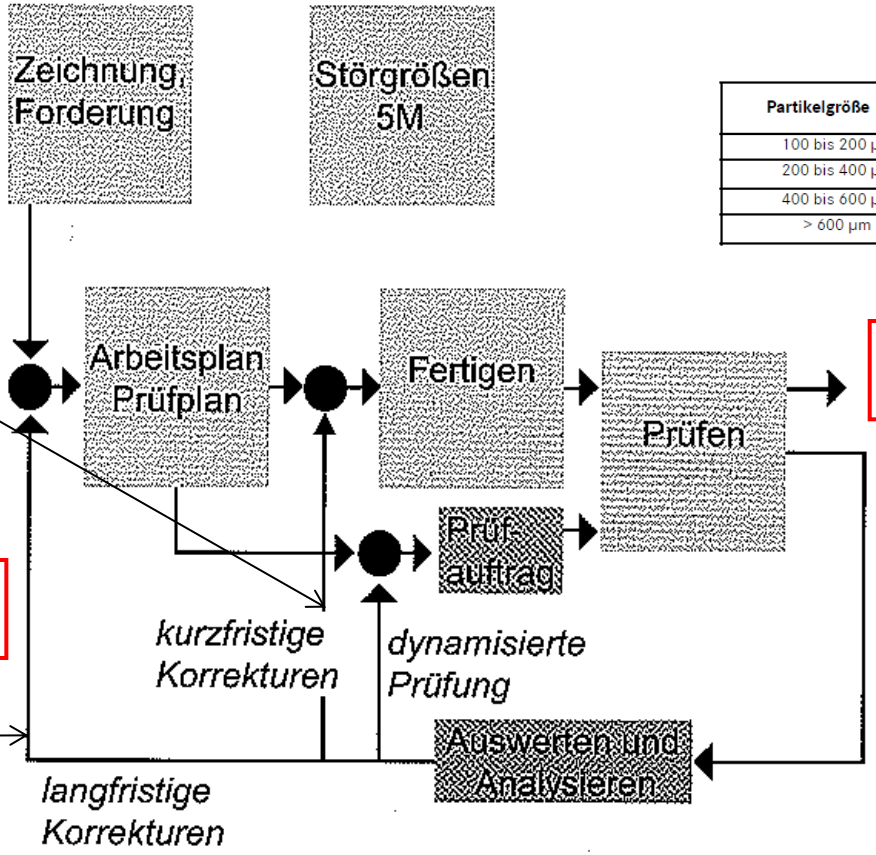
Der Zustand „Technische Sauberkeit“ kann nicht mit den gleichen im Automobilbau üblichen Qualitätsmaßstäben / Fähigkeiten betrachtet werden wie andere technische Merkmale!

Qualitätsregelkreis aus dem Lehrbuch

häufig prüfen



mit hohem Informations-Gehalt prüfen



Partikelgröße [µm]	[max. Partikelanzahl/Größenklasse]
100 bis 200 µm	250
200 bis 400 µm	25
400 bis 600 µm	0,1 *)
> 600 µm	0

Quelle: Mercedes

vergleichbar prüfen (Kundengrenzwerte)

VDA 19 im Wandel

Extraktion

Flüssigextraktion

- **Ultraschall**
- **Spritzen**
- **Spülen**
- **Schütteln**

Luftextraktion

- **Durchströmen**
- **Abblasen**

Filtration

Filtration

Analyse

Standardanalyse

licht-optisch	**Mikroskopie**, Länge, Breite, optional metallischer Glanz
	Scanner, Länge, Breite,

Gravimetrie

weitergehende Analyse

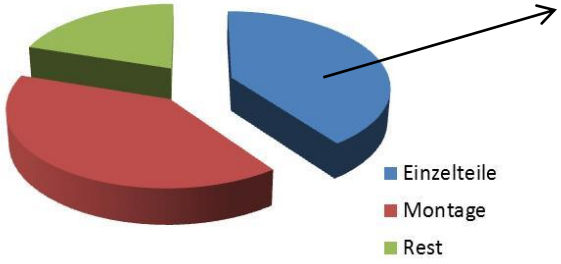
Höhe, weitere optisch. Merkmale
weitere optische Merkmale

- **REM/EDX**
- **LiBS**
- **Raman**
- **CT**
- **IR**

verkürzte Analyse

- **Flüssigkeits-Partikelzähler**
- **Filterblockade optisch**

Wie kann in den nächsten Jahren realistisch die Technische Sauberkeit von Produkten verbessert werden?



Beispiel Einzelteile

- hochwertigere Materialien
- reinheitsgerechte Konstruktion
  - reinigungsgerecht
  - partikeltolerant
- reinheitsgerechte Bearbeitung
  - gratarm
  - reinigungsgerechte Spanbildung
- Reinigungstechnik
  - neue Reinigungsverfahren?
  - Richtige Auswahl und Einsatz
  - Überwachung und Pflege

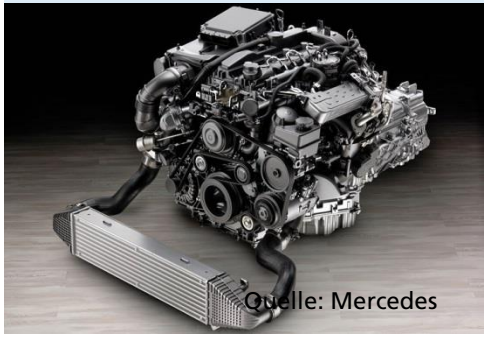
Viele Ansätze vorhanden…

… aber keine dramatischen Durchbrüche in Sicht

=> Behutsame Auswahl wirkungsvoller Maßnahmen und Verbesserungsschritte notwendig

Trends im Automobilbaus:

- Aggregate immer komplexer
- enormer Kostendruck:
  - für Werkstoffe
  - für Fertigungs-verfahren
  - durch Globalisierung


Quelle: Mercedes

Der Sauberkeitssheriff

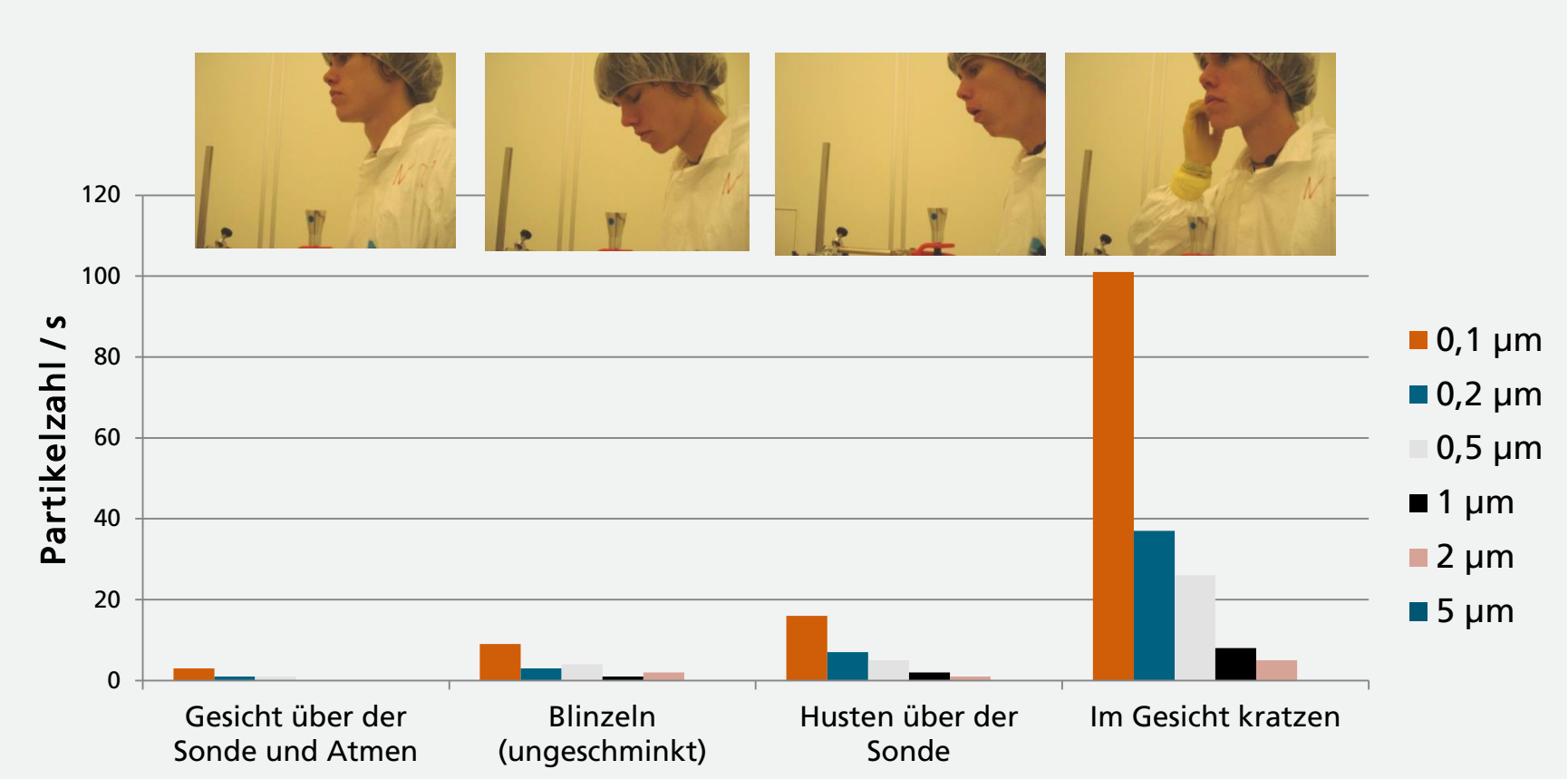
Fertigung / Prozesse

Analytik / QS

Aus- und Weiterbildung!

- berufsbegleitend
- im Unternehmen
- in der Ausbildung
- In der Lehre

Aus- und Weiterbildung



Aus- und Weiterbildung am und durch das Fraunhofer IPA

Weiterbildung:

- Prüfer für Technische Sauberkeit:
  - nach VDA 19
  - Partner VDA QMC
  - 4x pro Jahr
- Planer für Technische Sauberkeit:
  - nach VDA 19 Teil 2
  - Partner VDA QMC
  - 2x pro Jahr
- Produzieren unter reinen Bedingungen:
  - 2x pro Jahr
- Firmenspezifische Schulungen

neu ab Wintersemester 14/15

Ausbildung:

Vorlesung an der Uni Stuttgart (Verfahrenstechnik)

1. Einführung : Reinheitsanforderungen in verschiedenen Branchen
2. Grundlagen der Reinraumtechnik
3. Grundlagen der industriellen Reinigungstechnik 1
4. Grundlagen der Industrielle Reinigungstechnik 2
5. Reinheitsgerechte Auslegung von Produkten und Produktionstechnik 1
6. Reinheitsgerechte Auslegung von Produkten und Produktionstechnik 2
7. Qualitätssicherung und Analytik 1
8. Qualitätssicherung und Analytik 2
9. Planung und Optimierung reiner Fertigungen
10. Logistik und Personal in reinen Fertigungen

Weitere Infos / Kontakt

Fraunhofer IPA, Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Dr.-Ing. Markus Rochowicz, 0711-970-1175,
rochowicz@ipa.fraunhofer.de

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

Dipl.-Ing. (Fh) Stefan Boos, 0711-970-1190,
boos@ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Patrick Brag, 0711-970-1104,
brag@ipa.fraunhofer.de

Leitung Labor für Technische Sauberkeit:
Yvonne Holzapfel, 0711/ 970-1104
Yvonne.Holzapfel@ipa.fraunhofer.de

www.technische-sauberkeit.de

www.ipa-qualification.com

www.ipa.fraunhofer.de

Process-Orientated Component Cleanliness as a Quality Criterion

Trade Forum parts2clean

12th Leading International Trade Fair for Industrial Parts and Surface Cleaning

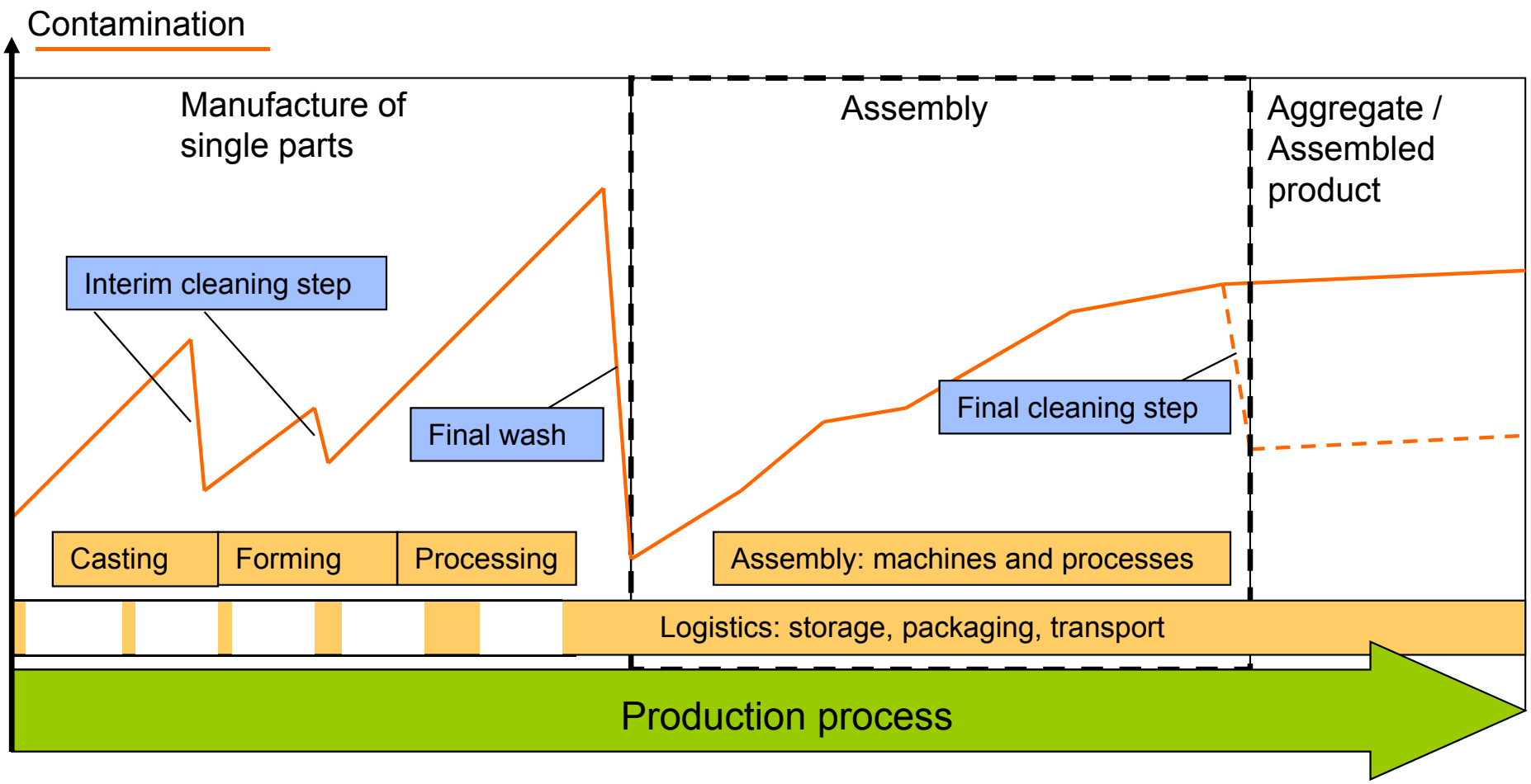
24th June 2014, Neue Messe, Stuttgart

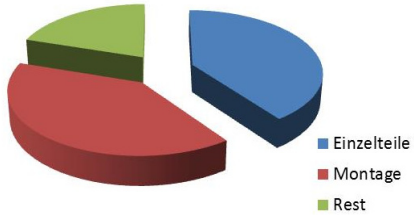
Dr.-Ing. Markus Rochowicz

Fraunhofer IPA,
Ultraclean Technology and Micromanufacturing

Fraunhofer IPA

Technical cleanliness in production processes (VDA 19 Part 2)

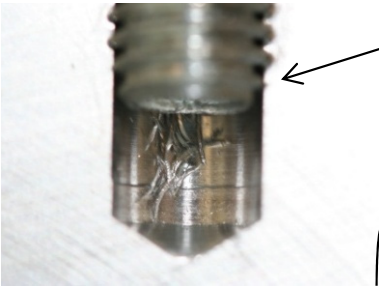




Where do contaminating particles usually come from?

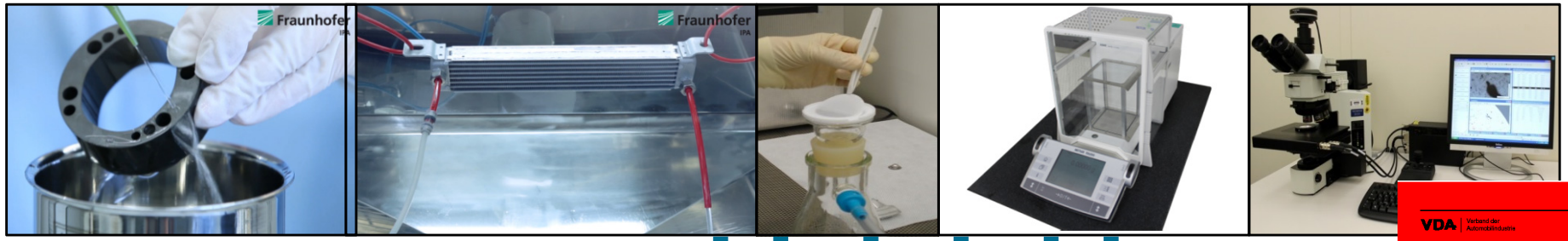
Of all the particles contaminating the final assembled product,

- 40% originate from components
- 40% originate from assembly processes
- 20% from other factors (environment, staff, logistics)



Source: Nehrling

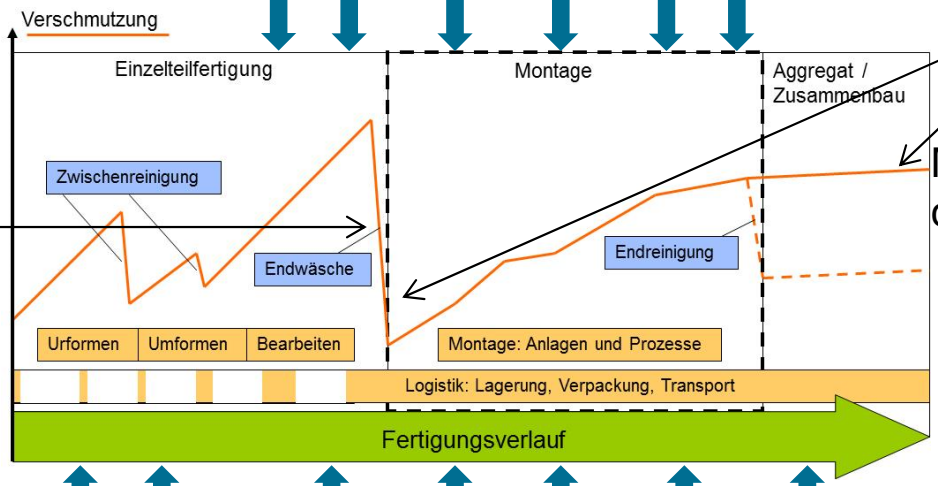
Monitoring Technical Cleanliness



Monitoring processes

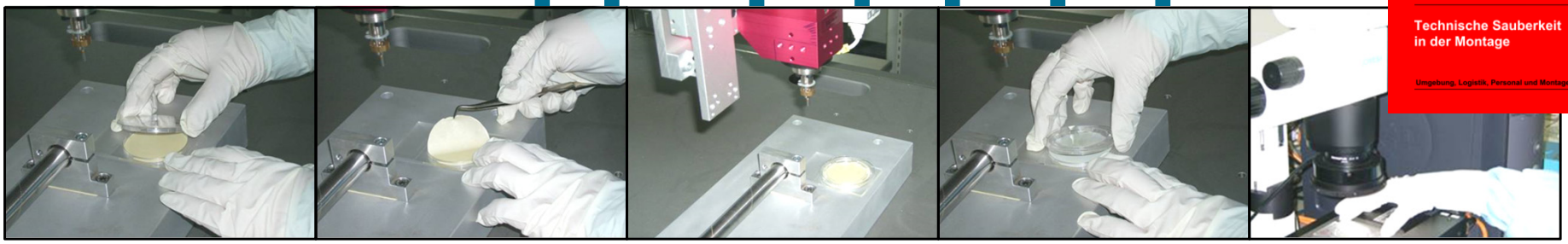
Monitoring cleansing equipment (key process):

- State of baths
- Process parameters



Monitoring components: cleanliness specification

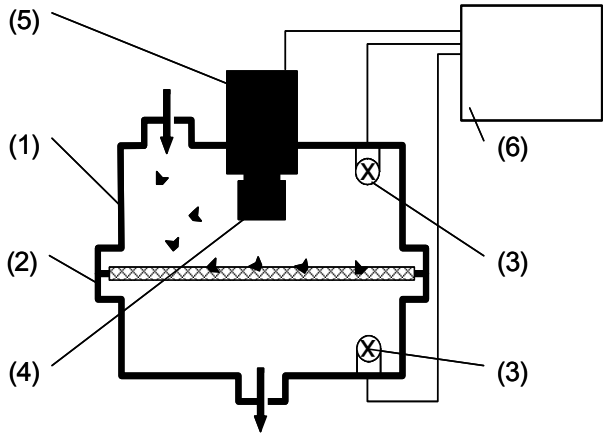
Monitoring processes

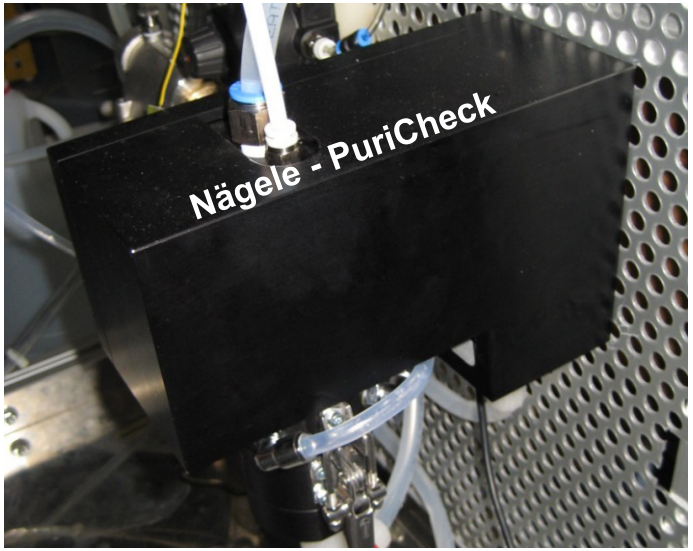


Example 1: PuriCheck – optical filter blockade

Technical data

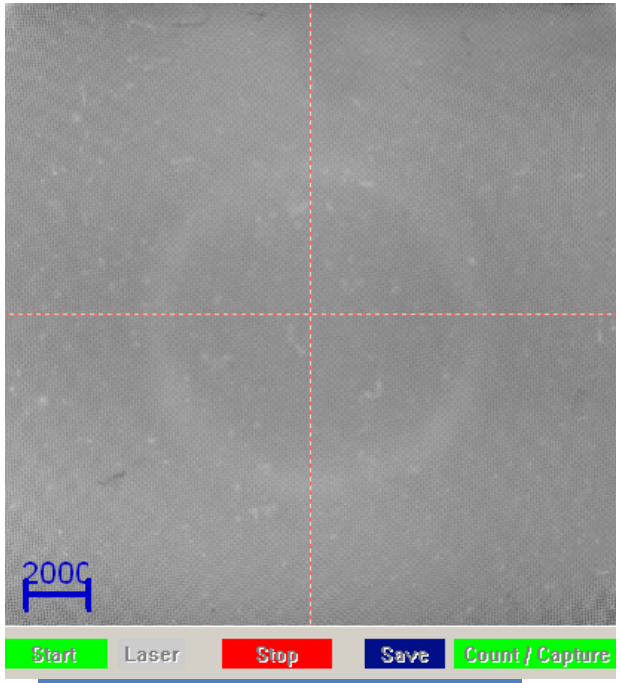
- Direct detection of particles 100 µm and larger in media circuits (hydr. system)
- Optional characterization of particle morphology
- Measurement volume flow approx. 20 l/min
- Measurements not falsified by air bubbles or non-soluble oils or greases
- Backwash, particles removed from the system
- Particle images can be optionally archived



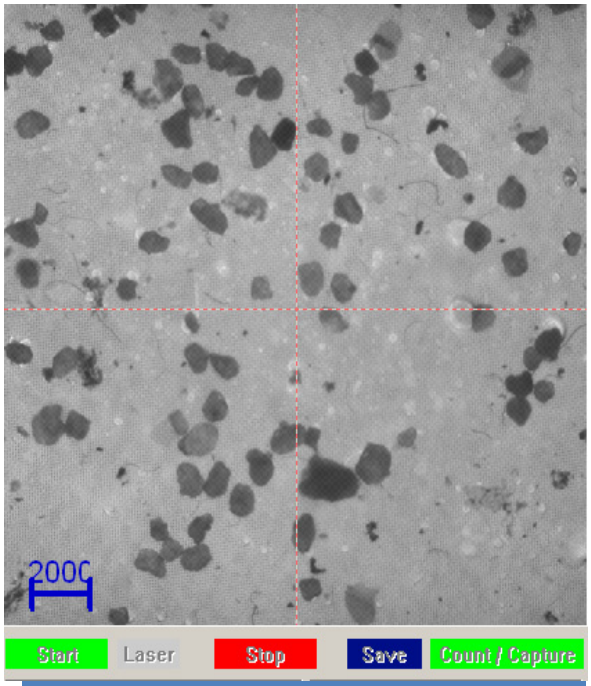


Example 1: PuriCheck – optical filter blockade

Digital image analysis of particles in media circuit



Start of measurement



End of measuring cycle

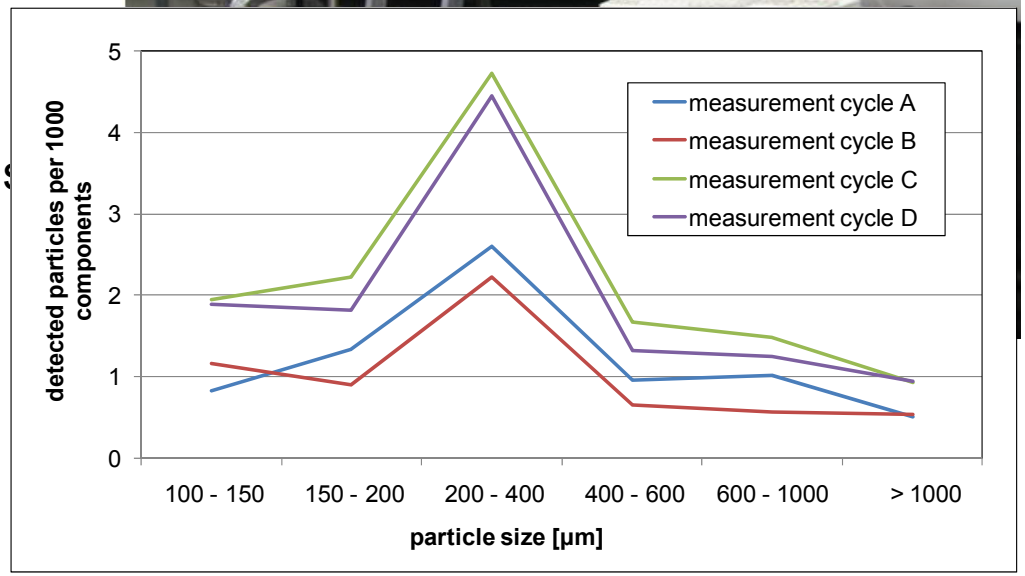
Size[µm]	Count
100 - 150	62
150 - 200	9
200 - 400	5
400 - 600	0
600 - 1000	1
> 1000	0

Particle size classes as per VDA 19

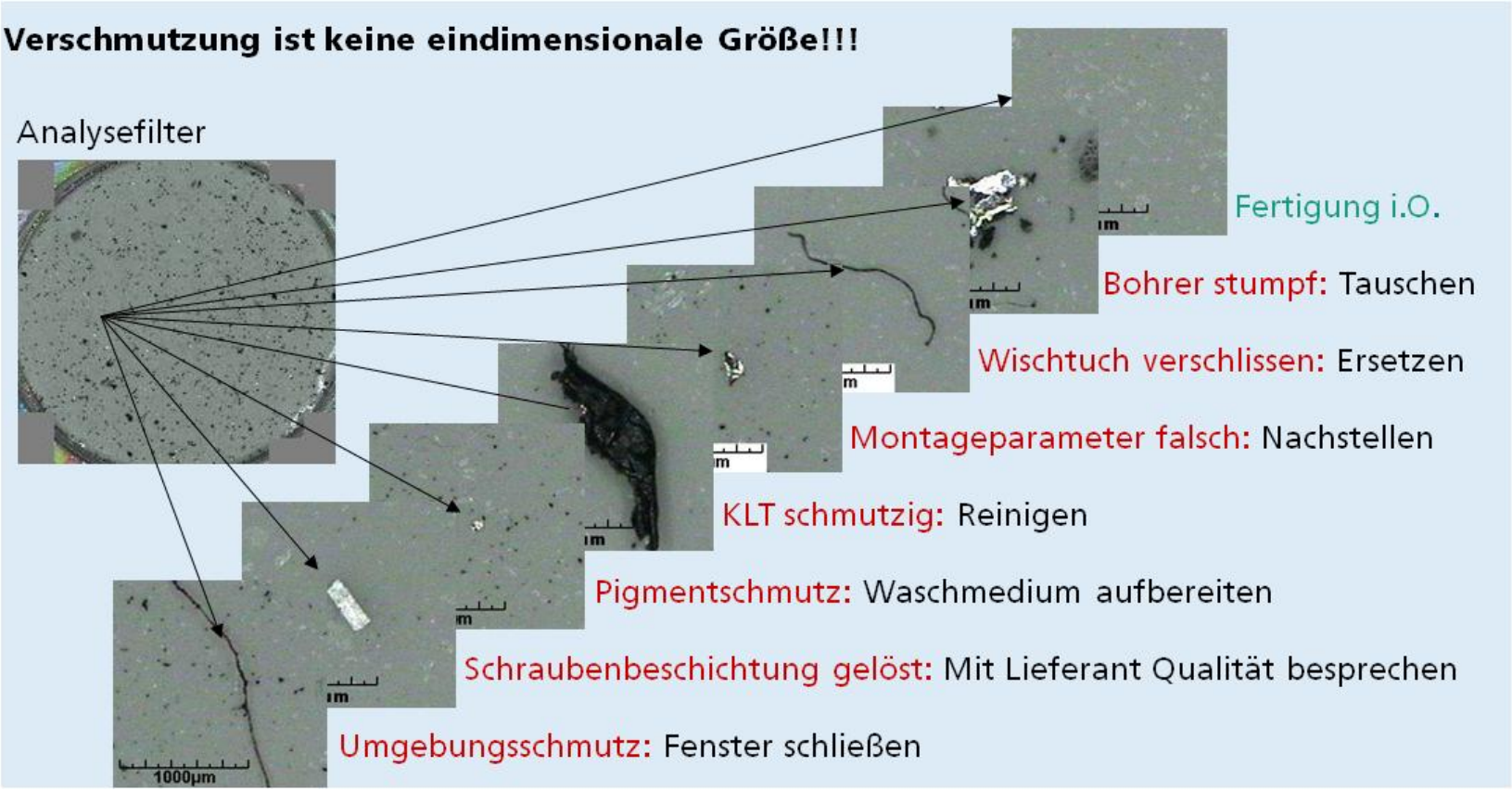
Example: PuriCheck – optical filter blockade

Application example – monitoring the rinsing chamber of a cleansing plant

- Analysis module is connected up to the final **rinsing chamber** of the plant
- Sampling volume flow: 20 l/min
  Sampling unit located in backwash line in front of filter
- Loss-free particle feed to PuriCheck sens
- Cumulative determination of particle count over fixed cycles
- Analysis of results per number of cleaned components in measuring cycle



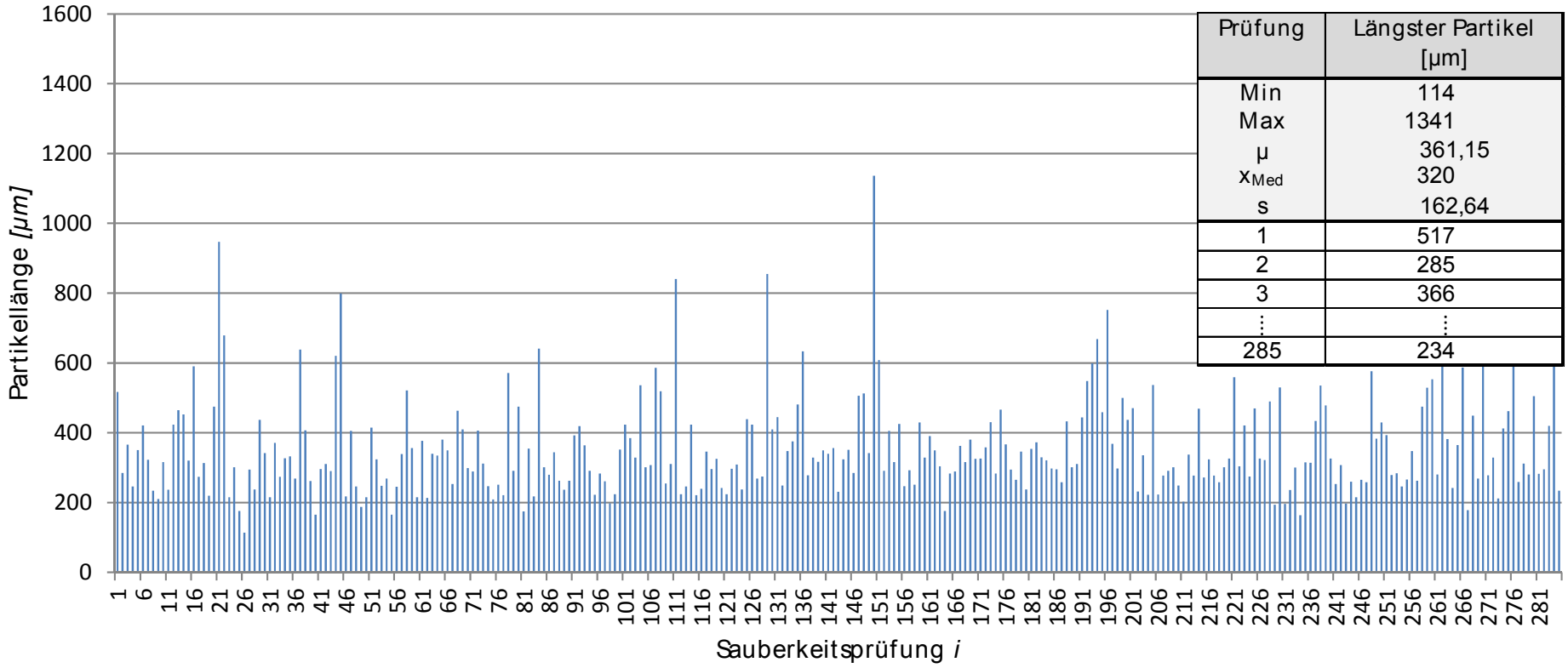
…just a few examples



Which feature can be monitored effectively?

Example: process monitoring

Longest particle , 281 measurements



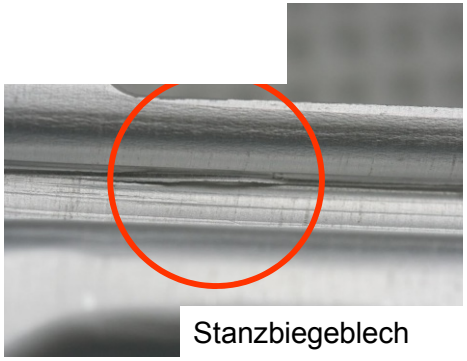
Prüfung	Längster Partikel [µm]
Min	114
Max	1341
µ	361,15
x_{Med}	320
s	162,64
1	517
2	285
3	366
⋮	⋮
285	234

Which feature can be monitored effectively?

Longest particle

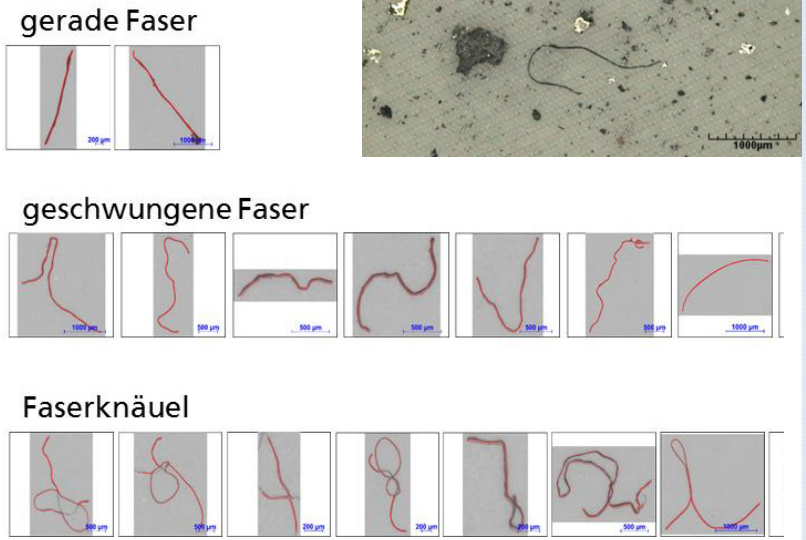
Chips

Stahlschmiedeteil



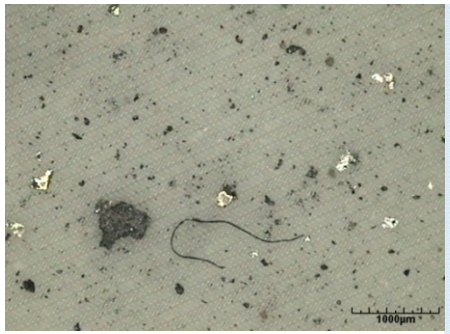
Stanzbiegeblech

Fibers



- Omnipresent
- Often not critical to functions
- Reliable recognition important

=> Standardized fiber criterion



Longest particle:

- Often specified
- Process-dependent but length is often not controlled (chip length, filter function)

Alternatively:

- Monitor width
- Also monitor smaller particles

Important:

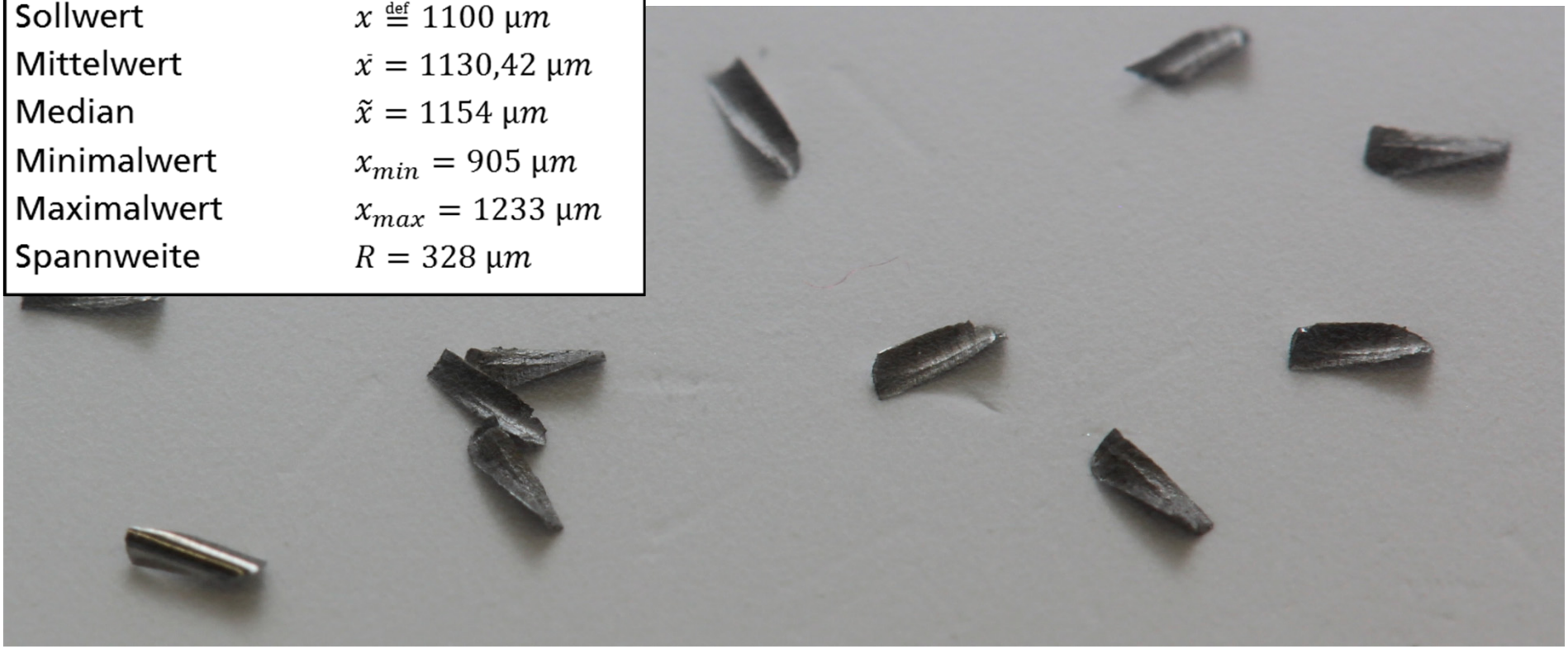
- Regulate or remove (textile) fibers

Which feature can be monitored effectively?

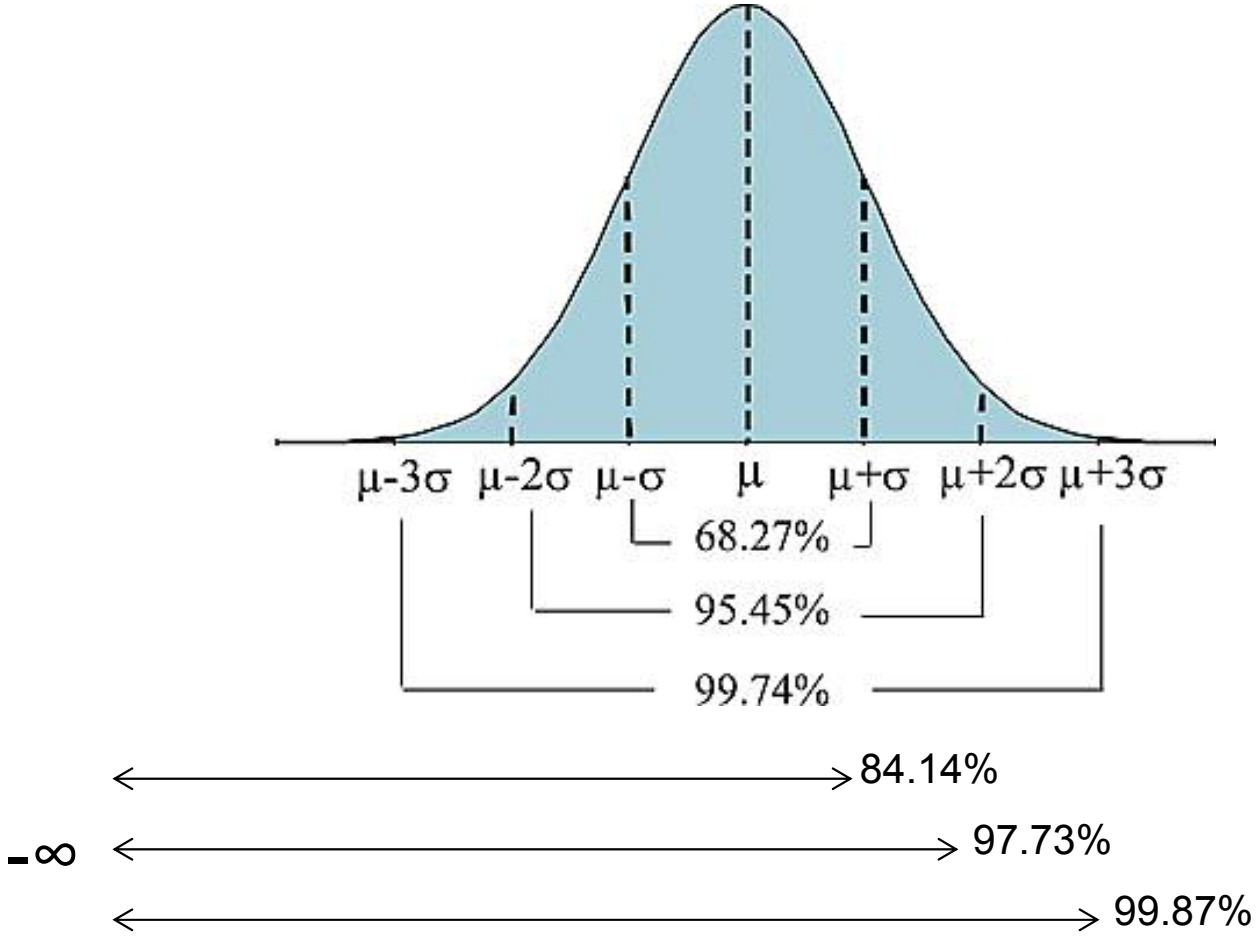
Longest particle

Chips of a specific size produced by precision machining (ISF Dortmund)

Stichprobe	$n = 112$
Sollwert	$x \stackrel{\text{def}}{=} 1100\ \mu m$
Mittelwert	$\bar{x} = 1130{,}42\ \mu m$
Median	$\tilde{x} = 1154\ \mu m$
Minimalwert	$x_{min} = 905\ \mu m$
Maximalwert	$x_{max} = 1233\ \mu m$
Spannweite	$R = 328\ \mu m$



How does a feature behave in relation to tolerances (limiting values)?



Mastered and capable!

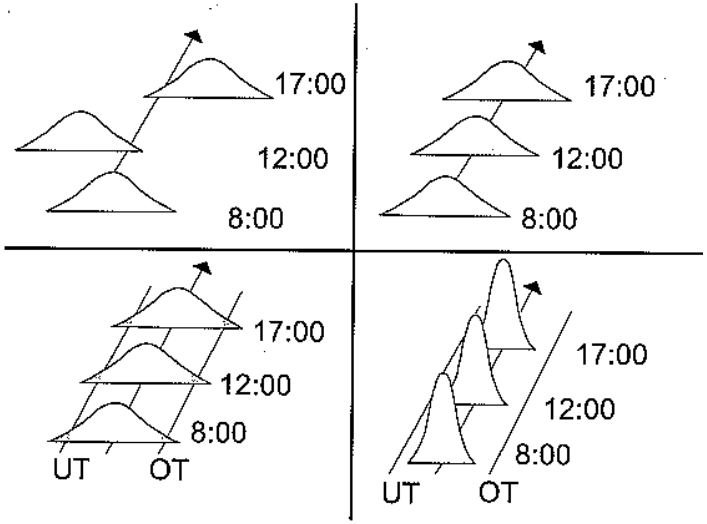
Abbildung 8.5-27:
Stabilität und Fähigkeit eines Prozesses

Not mastered

Mastered

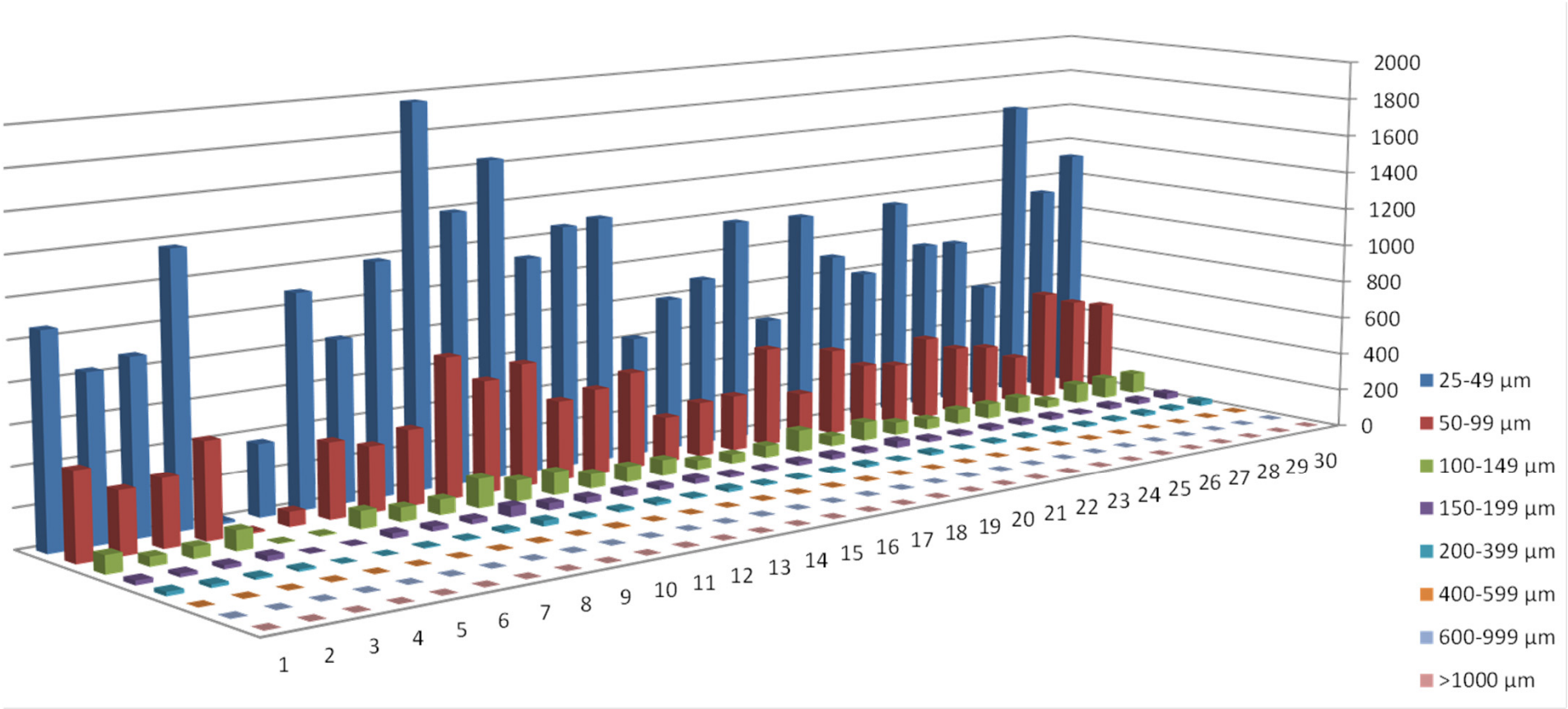
Mastered but not capable

Mastered and capable

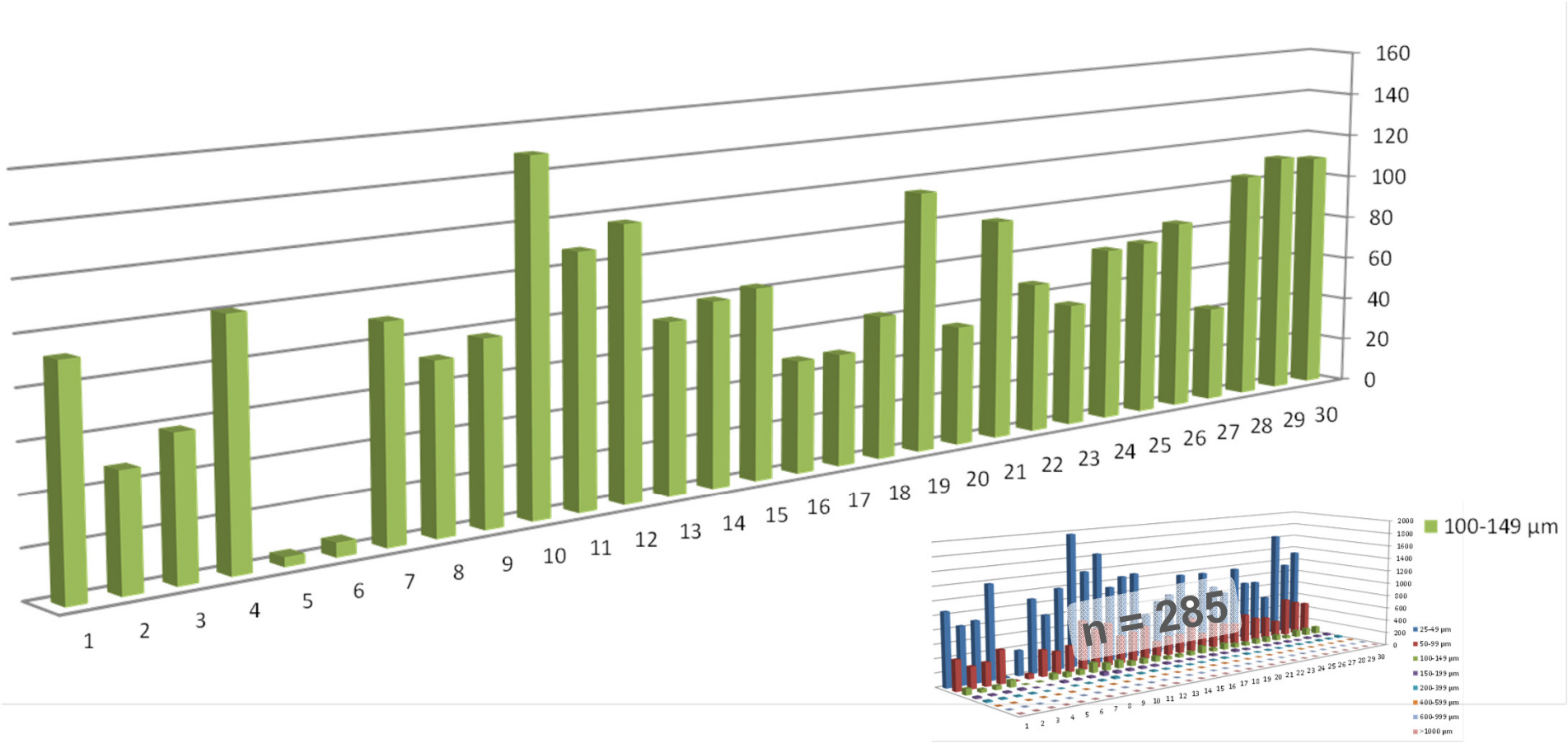


Legende:
OT = obere Toleranz
UT = untere Toleranz

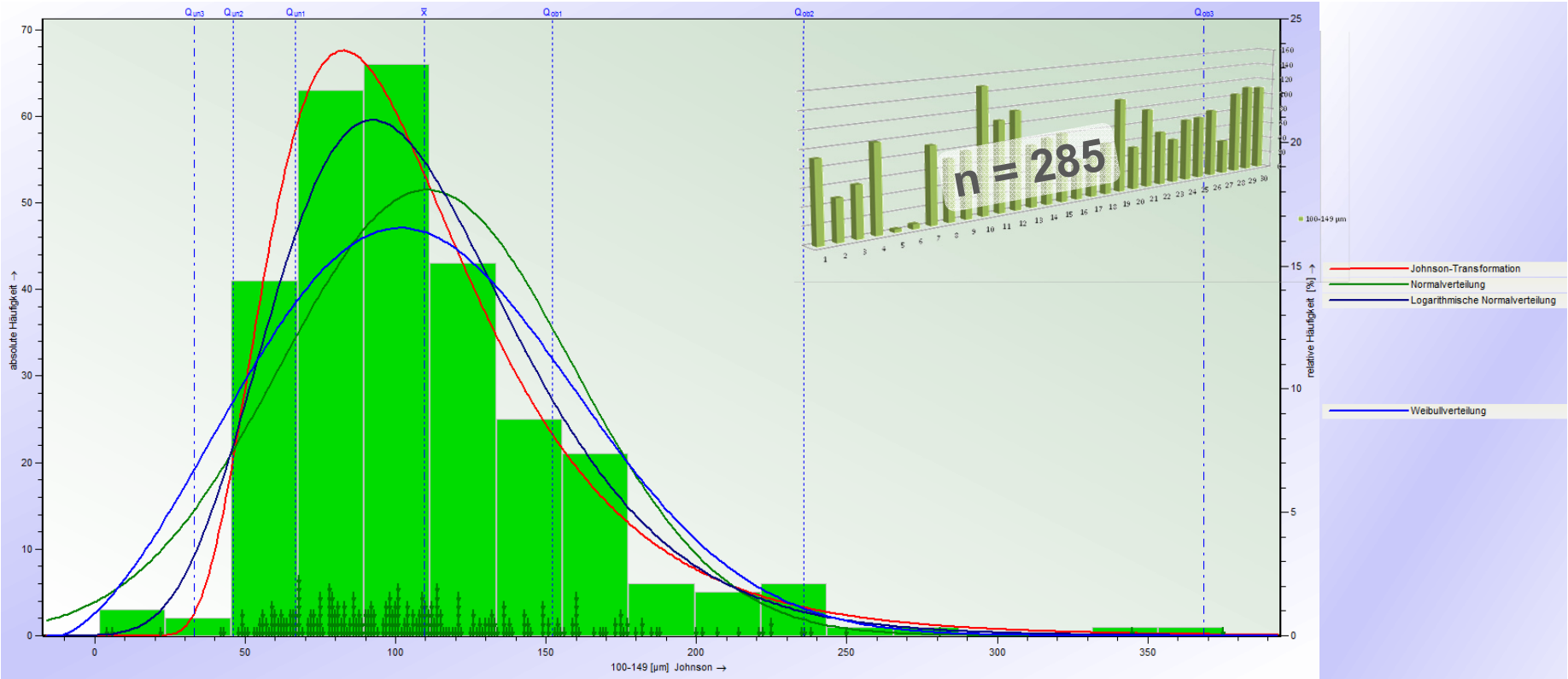
Particle size distribution



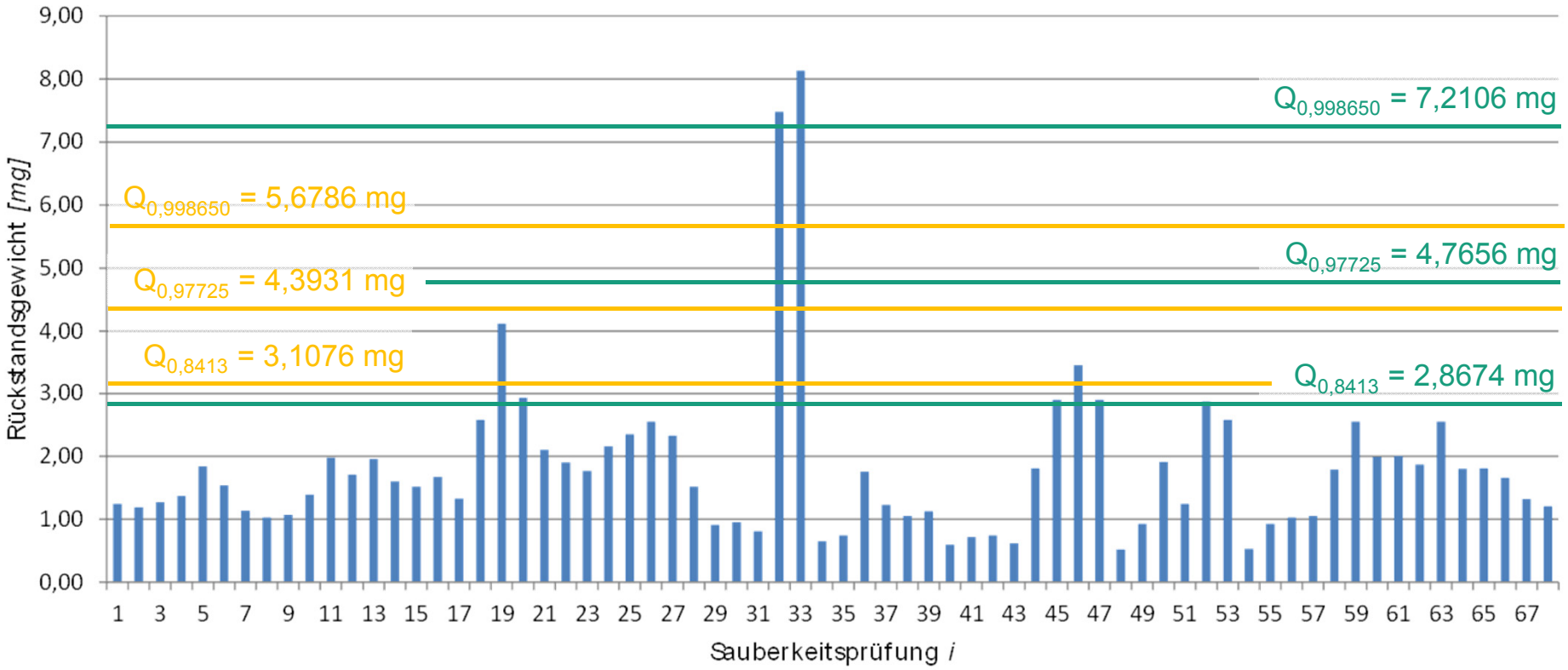
Example: progression of a particle size channel



Particle size distribution, size range F (100-149µm)

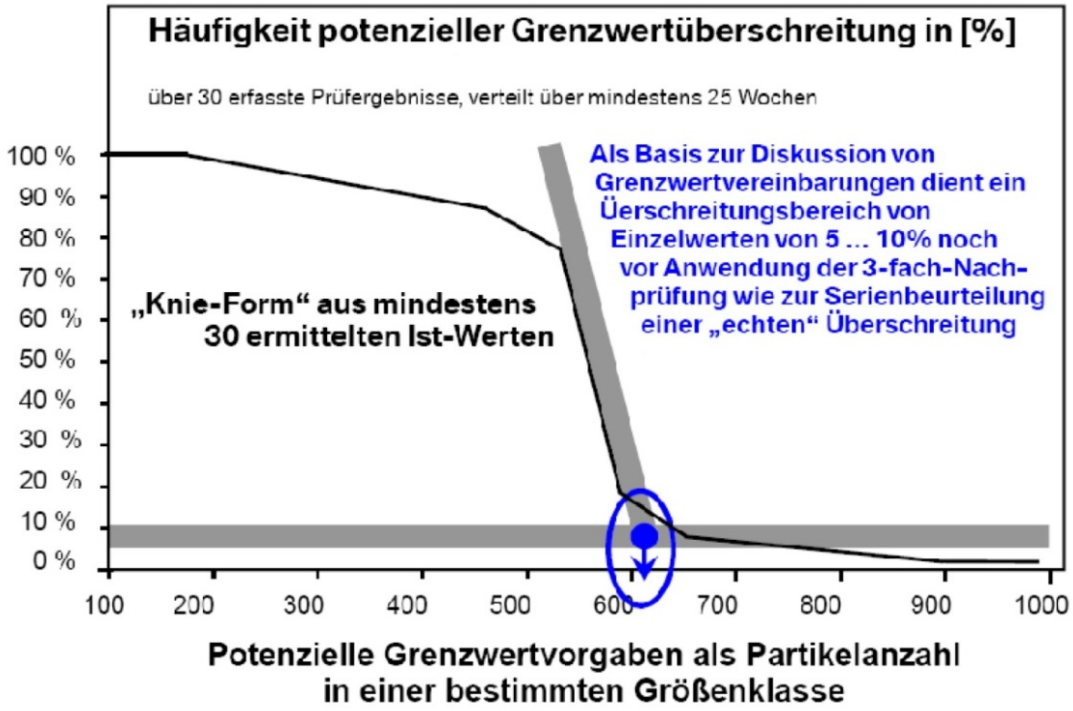


Example: residue weight. Quantiles as limiting values (WV + NV)



Limiting Values

Examples of two different automotive manufacturers



Source: BMW quality standard QV 11111

Zeichnungseintrag

DBL 6516.20 (stark funktionskritisches Bauteil)
Eskalationsstufe B
Prüfreinigungsverfahren: Ultraschallreinigung - DBL 6515
Partikelgrößenverteilung:

Partikelgröße [µm]	[max. Partikelanzahl/Größenklasse]
100 bis 200 µm	250
200 bis 400 µm	25
400 bis 600 µm	0,1 *)
> 600 µm	0

*) max. Partikelgröße: 500 µm

Source: Mercedes

Technical cleanliness and process capability

With today's process stability regarding technical cleanliness and the state of many cleanliness limiting values, the following are to be expected:

- 5-10% of limiting values exceeded
- 1-2σ
- C_{pk} values generally < 0.5

On the other hand, a system doesn't malfunction immediately if a cleanliness limiting value is exceeded but the probability of it doing so does go up. In order for a system to fail, critical particulate contamination doesn't just have to be present in the system but also in the right place and at the right time.

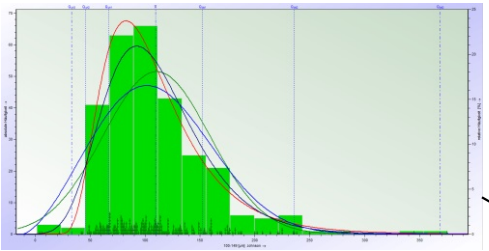
=> Cleanliness limiting values are intervention limits and not tolerance limits

Conclusion:

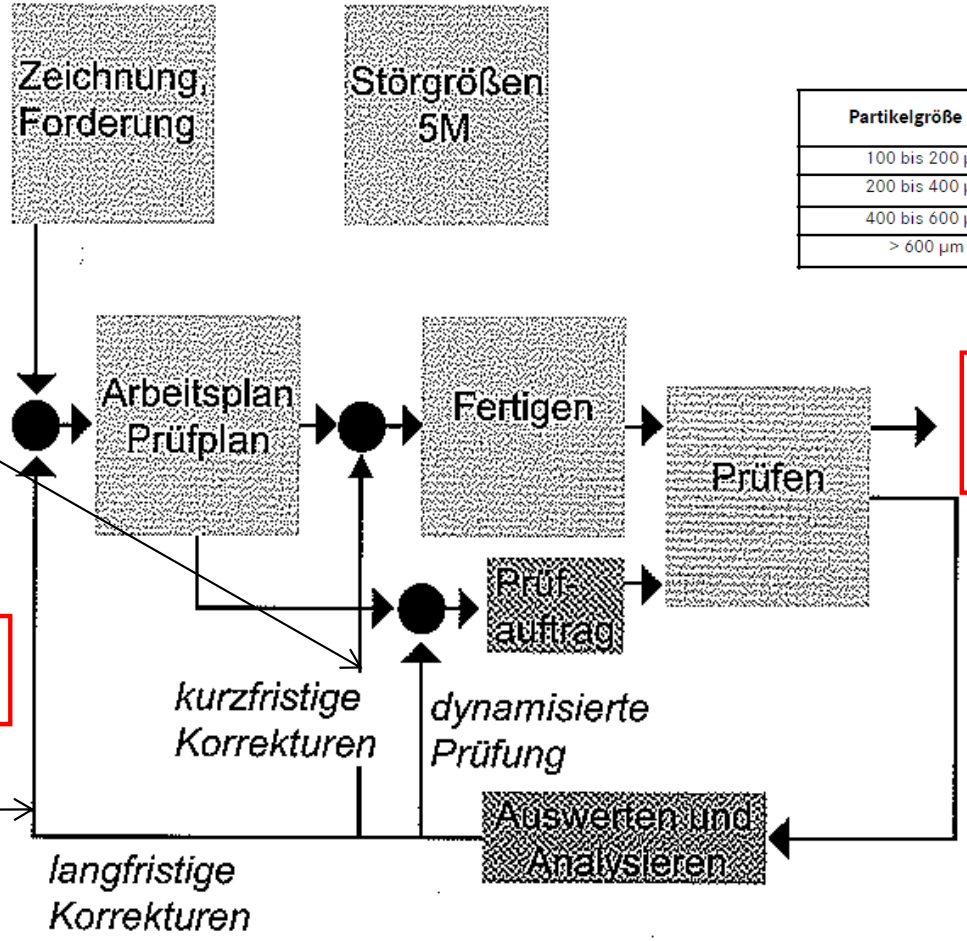
The state "technical cleanliness" cannot be considered using the same quality criteria/ capabilities typical for the automotive industry as other technical features!

Quality control loop straight out of the instruction manual

Frequent tests



Tests with high information content



Partikelgröße [µm]	[max. Partikelanzahl/Größenklasse]
100 bis 200 µm	250
200 bis 400 µm	25
400 bis 600 µm	0,1 *)
> 600 µm	0

Source: Mercedes

Comparative tests (customer limiting values)

VDA 19 Undergoing Change

Extraction

Liquid extraction

- **Ultrasound**
- **Pressure rinsing**
- **Rinsing**
- **Agitation**

Air extraction

- **Through-flow**
- **Blowing**

Filtration

- **Filtration**

Analysis

Standard analysis

- **light-optical**
  - **Microscopy**: length, width, optional metallic shine
  - **Scanner:** length, width
- **Gravimetry**

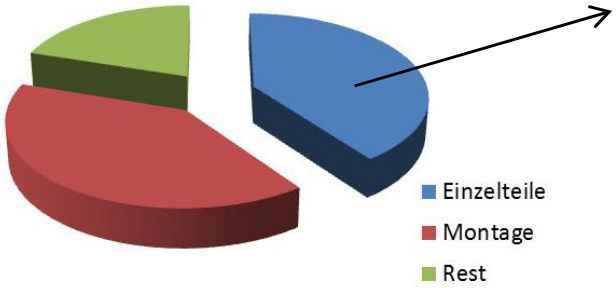
Further analysis

- Height, other optical features
- Other optical features
- **SEM/EDX**
- **LiBS**
- **Raman**
- **CT**
- **IR**

Shortened analysis

- **Liquid particle counter**
- **Optical filter blockade**

How can the technical cleanliness of products be improved over the next few years?



Example: single components

- Better quality materials
- Cleanliness-suitable construction
  - Easy to clean
  - Tolerant to particles
- Cleanliness-suitable processing
  - Low-burr
  - Easy chip removal
- Cleaning technology
  - New cleaning techniques?
  - Correct choice and usage
  - Monitoring and care

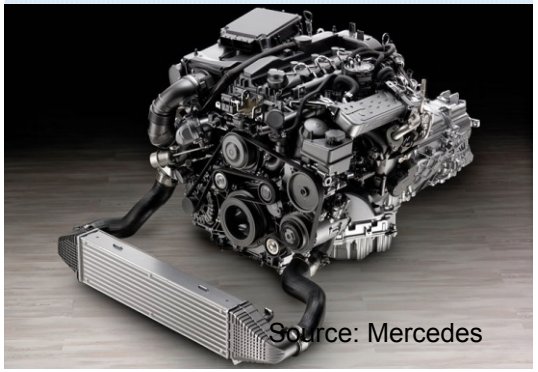
Many concepts around…

… but no dramatic breakthroughs in sight

⇒Effective measures need to be carefully selected and optimization steps taken

Trends in automotive construction:

- Increasingly complex aggregates
- Enormous cost pressure
  - Regarding materials
  - Regarding production methods
  - Due to globalization



The Cleanliness Sheriff

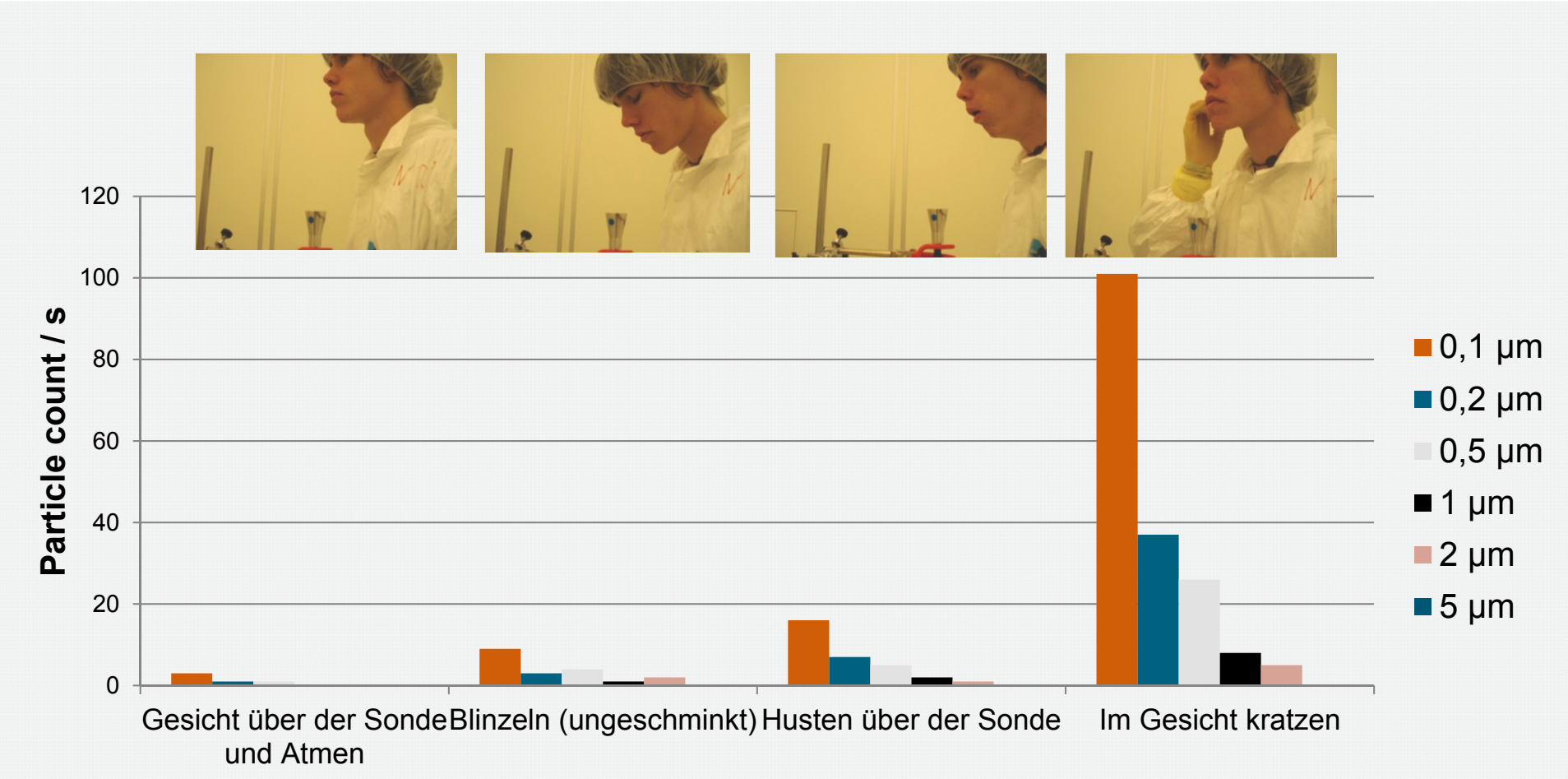
Production / processes

Analytics / QS

Vocational and advanced training!

- On-the-job
- In-house
- During training
- During apprenticeships

Vocational and Advanced Training



Vocational and Advanced Training at and offered by Fraunhofer IPA

Advanced training:

- Technical cleanliness inspector:
  - In accordance with VDA 19
  - VDA QMC partner
  - 4x per year
- Technical cleanliness planner:
  - In accordance with VDA 19 Part 2
  - VDA QMC partner
  - 2x per year
- Manufacturing under clean conditions:
  - 2x per year
- Company-specific training courses

New courses starting in winter semester 14/15

Vocational training:

Lectures at Stuttgart University (process technology)

1. Introduction: Cleanliness Requirements in Different Industries
2. Fundamentals of Cleanroom Technology
3. Fundamentals of Industrial Cleaning Technology 1
4. Fundamentals of Industrial Cleaning Technology 2
5. Cleanliness Suitable Design of Products and Production Technology 1
6. Cleanliness Suitable Design of Products and Production Technology 2
7. Quality Assurance and Analytics 1
8. Quality Assurance and Analytics 2
9. Planning and Optimizing Clean Production Facilities
10. Logistics and Staff in Clean Production Facilities

Further Information / Contact Addresses

Fraunhofer IPA, Nobelstraße 12
70569 Stuttgart, Germany

Dr.-Ing. Markus Rochowicz, 0711-970-1175,
rochowicz@ipa.fraunhofer.de

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

Dipl.-Ing. (Fh) Stefan Boos, 0711-970-1190,
boos@ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Patrick Brag, 0711-970-1104,
brag@ipa.fraunhofer.de

Head of Laboratory for Technical Cleanliness:
Yvonne Holzapfel, 0711/ 970-1104
Yvonne.Holzapfel@ipa.fraunhofer.de

www.technical-cleanliness.de

www.ipa-qualification.com

www.ipa.fraunhofer.de