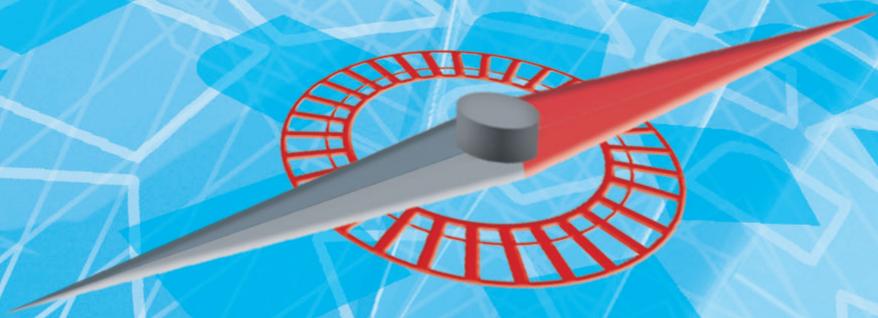




FACHVERBAND  
INDUSTRIELLE  
TEILEREINIGUNG E.V.

Navigator der Bauteilreinigung ■ *Navigator of component cleaning*



**Filmische  
Verunreinigungen  
beherrschen**

***Filmic Contamination  
in Control***

# 0. Inhalt

## 0. Content

<b>0. Inhalt</b>	<b>4</b>	<b>0. Content</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>	<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
<b>2. Filmische Verunreinigungen</b>	<b>10</b>	<b>2. Filmic contamination</b>	<b>10</b>
2.1. Definition & Begriffe	12	2.1. Terms & definitions	12
2.2. Vorkommen & Quellen	13	2.2. Incidence & sources	13
2.3. Eigenschaften	16	2.3. Properties	16
2.4. Auswirkungen	18	2.4. Effects	18
2.5. Filmische Verunreinigungen im Fertigungsprozess	21	2.5. Filmic contamination in production processes	21
2.6. Geltungsbereich dieser Richtlinie	23	2.6. Scope of this guideline	23
<b>3. Prozesskette Bauteilreinigung</b>	<b>24</b>	<b>3. Process chain for parts cleaning</b>	<b>24</b>
3.1. Ausgangszustand vor der Reinigung	26	3.1. Initial status prior to cleaning	26
3.2. Reinigungsverfahren	28	3.2. Cleaning methods	28
3.2.1. Spritzreinigung	29	3.2.1. Spray cleaning	29
3.2.2. Tauchreinigung, Druckumfluten, zyklische Nukleation	29	3.2.2. Immersion cleaning, pressure flooding, cyclic nucleation	29
3.2.3. Ultraschall-Nassreinigung	30	3.2.3. Ultrasonic wet cleaning	30
3.2.4. Plasmareinigung	32	3.2.4. Plasma cleaning	32
3.2.5. Strahlreinigung	32	3.2.5. Blast cleaning	32
3.2.6. CO <sub>2</sub> -Strahlreinigung	33	3.2.6. CO <sub>2</sub> blast cleaning	33
3.2.7. Laserstrahlreinigung	34	3.2.7. Laser cleaning	34
3.2.8. Ausheizen an Atmosphäre und Ausheizen im Vakuum	34	3.2.8. Tempering and baking out	34
3.3. Reinigungschemie	35	3.3. Chemical cleaning agents	35
3.3.1. Wässrige Ein- & Mehrkomponentenreiniger	37	3.3.1. Water based single- and multi-component detergents	37
3.3.2. Wässrige Reiniger: polar, unpolar	38	3.3.2. Water-based cleaning agents: polar, non-polar	38
3.3.3. Wässrige Reiniger: alkalisch, sauer, neutral	39	3.3.3. Water-based cleaning agents: alkali, acidic, neutral	39
3.3.4. Lösemittel	40	3.3.4. Solvents	40
3.3.5. Weitere	40	3.3.5. Others	40
3.4. Mess-, Prüf-, Analyse-Techniken	41	3.4. Measuring, verification and analytical techniques	41
3.4.1. Sichtprüfung	45	3.4.1. Visual inspection	45
3.4.2. Wischtest	46	3.4.2. Wipe test	46
3.4.3. Wasserablaufprobe/Wasserbruchtest	47	3.4.3. Water run-off test/water break test	47
3.4.4. Testtinte	48	3.4.4. Test ink	48
3.4.5. Kontaktwinkelmessung	52	3.4.5. Contact angle measurement	52
3.4.6. Fluoreszenzmessung	56	3.4.6. Fluorescence measurement	56
3.4.7. Restgasanalyse/VIDAM	59	3.4.7. Residual gas analysis/VIDAM	59
3.4.8. TOC-Test	61	3.4.8. TOC test	61

3.4.9. (ATR-)FTIR Spektroskopie	62	3.4.9. (ATR-)FTIR spectroscopy	62
3.4.10. TD-CG-MS	63	3.4.10. TD-GC-MS	63
3.4.11. XPS-Analyse	65	3.4.11. XPS analysis	65
3.4.12. ToF-SIMS	67	3.4.12. ToF-SIMS	67
3.4.13. REM/EDX-Analyse	69	3.4.13. SEM/EDX analysis	69
<b>3.5. Prozessüberwachung</b>	<b>71</b>	<b>3.5. Process monitoring</b>	<b>71</b>
3.5.1. Zustands- und Wirkgrößen des Reinigungsprozesses	71	3.5.1. Status and effectiveness variables in the cleaning process	71
3.5.2. Für wässrige Reinigungsverfahren	72	3.5.2. For water-based cleaning methods	72
3.5.3. Tensidkonzentration	73	3.5.3. Surfactant concentration	73
3.5.4. Builderkonzentration	76	3.5.4. Builder concentration	76
3.5.5. Badverschmutzung	79	3.5.5. Bath contamination	79
3.5.6. Speziell für Ultraschall-Nassreinigung	79	3.5.6. Specifically for ultrasonic wet cleaning	79
<b>4. Lösungsansätze zu typischen Aufgabenstellungen der Teilereinigung</b>	<b>80</b>	<b>4. Possible solutions for typical tasks within parts cleaning</b>	<b>80</b>
4.1. Optimale Prozessführung: systematisch und qualitätsgerecht	81	4.1. Optimised process management: systematic and quality-assured	81
4.2. Untersuchen des Bauteilzustands entlang des Prozesses	88	4.2. Examining the part condition throughout the process	88
4.3. Überwachung der Wirk- und Störstoffe im Reinigungsprozess	94	4.3. Monitoring the active agents and impurities in the cleaning process	94
4.4. Grenzwerte für hinreichende Bauteil- sauberkeit ermitteln	99	4.4. Determining the thresholds for adequate part cleanliness	99
4.5. Sauberkeit von Funktionsflächen prüfen	108	4.5. Checking the cleanliness of functional surfaces	108
4.6. Notwendigen Prozessanpassungen richtig begegnen	111	4.6. The right approach to necessary process adjustments	111
4.7. Prozessstörungen richtig begegnen	118	4.7. The right approach to process disruptions	118
4.8. Identifikation der Quellen chemischer/ filmischer Verunreinigungen	124	4.8. Identifying the sources of chemical/filmic contamination	124
<b>5. Weitere Empfehlungen</b>	<b>132</b>	<b>5. Additional recommendations</b>	<b>132</b>
5.1. ... zu sauberkeitgerechtem Umgang	132	5.1. ... on proper methods of clean handling	132
5.2. ... zu reinigungsgerechter Bauteilgestaltung	135	5.2. ... on cleanliness-suitable part design	135
5.3. ... zum Handling von Proben für oberflächen- analytische Untersuchungen	139	5.3. ... on the handling of samples for surface analysis	139
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>141</b>	<b>6. Summary &amp; outlook</b>	<b>141</b>
<b>7. Weiterführende Literatur</b>	<b>145</b>	<b>7. Further reading</b>	<b>145</b>

# 1. Einleitung

## 1. Introduction

### 1. Einleitung

In vielen Industriezweigen ist die Sauberkeit von Bauteiloberflächen nach Vor-, Zwischen- und Endreinigungsschritten ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Trotz des Einsatzes modernster Produktionstechniken können fertigungsbedingte Verunreinigungen nicht immer vollständig ausgeschlossen werden. Vorhandene Verschmutzungen müssen entsprechend abgereinigt werden, damit das Bauteil eine hinreichende Sauberkeit für die nachfolgenden Fertigungsschritte (zum Beispiel Fügen, Lackieren) und Endanwendungen aufweist.

Während in den vergangenen Jahren dabei hauptsächlich partikuläre Verunreinigungen betrachtet wurden, werden derzeit zunehmend auch chemische/filmische Verunreinigungen als qualitätsbeeinflussend wahrgenommen. Zu den filmischen Verunreinigungen gehören Öle und Fette, aber auch Rückstände von Korrosionsschutzmitteln, Beschichtungen, Kühlschmierstoffen, Wachsen und weiteren Fertigungshilfsmitteln. Ebenso dazu zählen Konservierungsstoffe, Trennstoffe und -mittel aus den verschiedensten formgebenden Fertigungsprozessen, Klebstoffe sowie Handschweiß und Fingerabdrücke. Ganz allgemein können filmische Verunreinigungen als dünne, zusammenhängende (nicht-partikuläre) Schicht aus unerwünschten, fremdartigen Bestandteilen auf Teil- oder Vollflächen von Bauteilen beschrieben werden.

Dass Öle und Fette (und ähnliche Substanzen) für bestimmte Prozesse störend wirken, ist seit hinreichend langer Zeit bekannt. Daher rührt die derzeit sehr gebräuchliche Spezifikation „öl- und fettfrei“. Die (vollständige) Abwesenheit eines unerwünschten Stoffes an einer relevanten Oberfläche zu fordern, ist sicherlich ein sinnvoller erster Schritt; es sensibilisiert alle Beteiligten darauf, dass ölige und fettige Rückstände störend wirken können. Während allerdings die ähnliche Anforderung „silikonfrei“ in vielen Fertigungsprozessen durch die Vermeidung von silikonhaltigen Fertigungshilfsmitteln auch praktisch umgesetzt werden kann, lässt sich auf „ölige“ und/oder „fettige“ Fertigungshilfsmittel in der Regel nicht verzichten.

### 1. Introduction

*The cleanliness of part surfaces after pre- post- and final cleaning is an important quality characteristic in many branches of industry. But it is not always possible to exclude the presence of manufacturing-related contamination, despite the use of state-of-the-art production methods. It is therefore necessary to remove contamination from the surfaces to ensure that the parts exhibit the necessary cleanliness for the downstream manufacturing stages (e.g. joining, painting) and its final use.*

*Efforts undertaken in recent years have primarily addressed the issue of particulate contamination. Now, though, chemical contamination and contamination with films are perceived increasingly as adverse to quality. Films that contaminate surfaces may be produced by oils and greases, as well as by residues of corrosion inhibitors, coatings, cooling lubricants, waxes and other production aids. Also included in this group are preservatives, release agents and substances from the complete range of shaping processes, bonding agents, perspiration from the hands and fingerprints. In a simplified sense, contamination with films is present as a thin, contiguous (non-particulate) layer of unwanted, foreign components covering some or all of the part surfaces.*

*The adverse effects of oils and greases (or similar substances) on certain processes have been known for a sufficiently long period of time. The specification 'oil and grease-free' that is encountered very frequently these days reflects this insight. There is no doubt that demanding the (complete) absence of an unwanted substance on a relevant surface is a meaningful first step; it raises awareness among all stakeholders of the potentially adverse effects of oily and greasy residues. But while a similar requirement, namely 'silicon-free', can be implemented in many manufacturing processes simply by avoiding production aids with silicon contents, the use of their 'oily' or 'greasy' counterparts can usually not be avoided. Essential production aids, e.g. cooling lubricants in the machining industry, will contain natural or synthetic oils or*

Wesentliche Fertigungshilfsmittel wie bspw. Kühlschmiermittel in der zerspanenden Werkstoffbearbeitung enthalten notwendigerweise natürliche oder synthetische Öle oder Fette. Die Praxis erfordert daher das Festlegen von prozess-tauglichen Grenzwerten für hinreichende Sauberkeit.

Die Situation für Teilehersteller und Reinigungsanlagenbetreiber wird immer anspruchsvoller, da eine zunehmende Anzahl an Fertigungsprozessen und Endanwendungen auf saubere Bauteiloberflächen hinsichtlich filmischer Verunreinigungen angewiesen sind. Um diesen stetig steigenden Anforderungen richtig zu begegnen, können die „Leitlinien für eine qualitätssichernde Prozessführung in der Bauteilreinigung“ [1] und „Checkliste zur Planung eines Reinigungsprozesses“ [2] des Fachverband industrielle Teilereinigung (FiT) e.V. eine erste Orientierung geben.

Darüber hinaus hat der FiT den Bedarf der Branche Industrielle Teilereinigung nach praxistauglichen Handlungsempfehlungen zur qualitätssichernden Prozessführung hinsichtlich filmischer Verunreinigungen erkannt. Basierend auf dem verfügbaren Stand der Technik angereichert mit Praxis- und Expertenwissen sowie Anwendererfahrung der Autoren wurde im Zeitraum 2015 2018 die vorliegende Richtlinie „Filmische Verunreinigungen beherrschen“ erarbeitet.

Im **EINFÜHRUNG**-steil dieser Richtlinie, **Kap. 2. „Filmische Verunreinigungen“**, werden zur Vereinheitlichung des Sprachgebrauchs Definitionen und Begriffe gegeben. Anschließend werden Vorkommen/Quellen filmischer Verunreinigungen sowie deren Eigenschaften und Auswirkungen erläutert. Anhand einiger Prozesse, Endanwendungen und Branchen wird die zunehmende Bedeutung filmischer Verunreinigungen in Fertigungsprozessen dargestellt. Abschließend wird der Geltungsbereich dieser Richtlinie abgesteckt.

*greases as a matter of necessity. It follows, therefore, that from a practical perspective, it will be unavoidable to define thresholds for adequate cleanliness that reflect the requirements of the individual processes.*

*The demands placed on parts manufacturers and the operators of cleaning systems are rising steadily, as an increasing number of manufacturing processes and final uses depend on a sufficient absence of filmic contamination as a criterion for part cleanliness. The Guideline for Quality-assured Process Management in Parts Cleaning [1] and the Check List for Planning the Cleaning Process [2] by the German Industrial Parts Cleaning Association (FiT) can provide initial guidance in order to address these increasingly stringent requirements to a sufficient extent.*

*But even beyond these documents, FiT has recognised that the industrial parts cleaning sector requires practical recommendations for quality-assured process management in regard to contamination with films. The authors drew on available state-of-the-art technology, adding practical and expert knowledge along with user experience, to prepare this guideline entitled “Managing Filmic Contamination” between 2015 and 2018.*

*The **INTRODUCTION** to this guideline, **Sec. 2. Filmic contamination**, lists terms and definitions in order to standardise the use of language. It then proceeds to explain the incidence/sources of filmic contamination, as well as their properties and effects. A number of processes, end uses and industries are presented to outline the increasing significance of filmic contamination for manufacturing processes. The scope of this guideline is then defined as a final stage.*

# 1. Einleitung

## 1. Introduction

Um Fertigungs- und Reinigungsprozesse in-house zu erarbeiten, zu etablieren und zu optimieren und somit eine hohe Gesamtprozessqualität und eine reproduzierbare Qualität des Endproduktes zu gewährleisten, ist ein gewisses Grundlagenwissen eine wesentliche Voraussetzung.

Dieses **GRUNDLAGEN**-Wissen soll in **Kap. 3. „Prozesskette Bauteilreinigung“** vermittelt werden. Ausgehend vom Dreh- und Angelpunkt dieser Richtlinie, der Prozesskette in der Teilereinigung, werden der Ausgangszustand der Teile vor der Reinigung sowie die derzeit zur Verfügung stehenden Lösungen hinsichtlich Reinigungschemie und Reinigungsverfahren zusammenfassend dargestellt. Die grundlegend notwendige Kenntnis der Sauberkeit beziehungsweise des Verschmutzungsgrades der Bauteile entlang des Reinigungsprozesses kann einzig durch die optimale Anwendung geeigneter Mess-, Prüf- und Analysetechnik erlangt werden. Dafür wird eine Auswahl der gängigsten, verfügbaren Verfahren vorgestellt und insbesondere die anwendungstechnischen Möglichkeiten und Grenzen hervorgehoben. Abschließend werden die aktuellen Ansätze und Lösungen in der Prozessüberwachung aufgezeigt.

Im **PRAXIS**-teil der Richtlinie, **Kap. 4. „Lösungsansätze zu typischen Aufgabenstellungen der Teilereinigung“**, werden die Grundlagen miteinander verknüpft und Lösungsansätze zu typischen Aufgabenstellungen in der Teilereinigung geboten. Es werden Handlungsempfehlungen dafür gegeben, Reinigungsprozesse systematisch und qualitätsgerecht zu gestalten und notwendigen Prozessanpassungen oder gar auftretenden Prozessstörungen richtig zu begegnen. Weiterhin aufgezeigt werden praxisnahe Möglichkeiten zur Überwachung der Wirkungs- und Störstoffe im Reinigungsprozess sowie zur Prüfung des Bauteilzustandes entlang der gesamten Prozesskette. Neben der Identifikation der

*It is simply impossible to prepare, establish and optimise manufacturing and cleaning processes as in-house solutions – and hence to guarantee high overall process and reproducible quality of the end product – without possessing a certain level of basic knowledge.*

*This **BASIC** knowledge will be provided in **Sec. 3. Process chain for parts cleaning**. The pivotal issue of this guideline is the process chain within parts cleaning. This is used as the basis to summarise the current state of parts prior to cleaning, as well as the solutions that are available at present within the areas of chemical cleaning and cleaning procedures. Optimised application of suitable measuring, verification and analysis technology is the only way to acquire the fundamentally essential knowledge of the parts' cleanliness, i.e. degree of contamination, along the various stages of the cleaning process. A selection of the most common available methods is presented for this purpose. The opportunities and limits of their technical application are also highlighted. The guideline then outlines the current approaches and solutions within process monitoring.*

*The **PRACTICAL** part of the guideline, **Sec. 4. Practical solutions for typical tasks within parts cleaning**, connects the dots within this basic knowledge to present possible solutions to common tasks encountered within parts cleaning. It provides recommendations for the systematic design of cleaning processes to meet quality requirements and to enable adequate responses to necessary process modifications or even disturbances in the processes themselves. Also described are highly practical ways to monitor active agents and impurities within the cleaning process, as well as to examine the condition of the part throughout the process chain. Besides identifying sources of chemical/filmic contamination and describing the analysis of cleanliness on functional surfaces as typical tasks, the guideline sets out a methodical procedure for the determination of thresholds that ensure adequate*

Quellen chemischer/filmischer Verunreinigungen und der Prüfung der Sauberkeit von Funktionsflächen als typische Aufgabenstellung wird ein methodisches Vorgehen zur Ermittlung von Grenzwerten für eine hinreichende Bauteilsauberkeit hinsichtlich filmischer Verunreinigungen vorgeschlagen. Anhand der Handlungsempfehlungen für typische Aufgabenstellungen werden die zur Verfügung stehenden Mess-, Prüf- und Analysetechniken im praktischen Einsatz dargestellt und die Vorteile und Einschränkungen der verschiedenen Verfahren veranschaulicht.

In **Kap. 5. „Weitere Empfehlungen“** werden weiterführende Handlungsempfehlungen zu sauberkeitsgerechtem Umgang mit Bauteilen, zu reinigungsgerechter Bauteilgestaltung sowie zur Handhabung von Proben für oberflächenanalytische Untersuchungen gegeben. Die Berücksichtigung dieser Empfehlungen verbessert die erfolgreiche Beherrschung filmischer Verunreinigungen in, vor und neben der Prozesskette der Teilereinigung. Im Anschluss an **Kap. 6. „Zusammenfassung & Ausblick“** findet sich in **Kap. 7. „Weiterführende Literatur“** eine Übersicht zu weiteren Informationen und Quellen.

Diese Richtlinie richtet sich an Betreiber von Teilereinigungsanlagen, Verantwortliche für Reinigungsprozesse, Prozesskettenführer sowie Anwender von Mess- & Prüftechnik. Sie soll ihnen die qualitätssichernde Prozessführung in der industriellen Teilereinigung hinsichtlich filmischer Verunreinigungen erleichtern.

*part cleanliness regarding contamination with films. The available measuring, verification and analytical techniques are presented in practical scenarios and the benefits and restrictions of the various methods are illustrated in a manner based on the recommendations for typical tasks.*

*Sec. 5. offers **Additional recommendations** for adequately clean handling of parts, the design of parts to facilitate cleaning and the management of samples for surface analysis. Consideration of these recommendations helps in the successful control of filmic contamination before and during the process chain of parts cleaning. After **Sec. 6 Summary & outlook**, **Sec. 0** can be found in **Chapter 7 „Further reading“**. provides an overview of additional information and sources.*

*This guideline is intended for the operators of parts cleaning systems, persons in charge of cleaning processes, process chain managers and users of measuring and verification equipment. Its purpose is to help them perform quality-assured process management for filmic contamination occurring within industrial production*

## 2. Filmische Verunreinigungen

### 2. *Filmic contamination*

#### 2. Filmische Verunreinigungen

Das zulässige Maß von Restverunreinigungen auf Bauteiloberflächen wird zunehmend ein wesentliches Qualitätskriterium und ist auf dem besten Weg zu einer Bauteileigenschaft zu werden, ähnlich wie Länge, Breite, Höhe – Oberflächen-Reinheit. Dabei ist das zulässige Maß an Oberflächenverunreinigung immer bestimmt durch i) einen nachfolgenden Prozessschritt und/oder ii) den finalen Einsatzzweck des Bauteils.

Grundsätzlich können verschiedene Arten von Verunreinigungen unterschieden werden: biologische, partikuläre und chemische/filmische Verunreinigungen. Biologische Rückstände sind vor allem im Bereich der Medizintechnik relevant. Sie sind bezüglich ihrer Natur, ihrem Verhalten, möglichen Abreinigungs- und Nachweisverfahren recht gut verstanden und genormt. Partikuläre Verunreinigungen wurden im Kontext der VDA-19 Reihe „Technische Sauberkeit“ (Teil 1: Prüfung der Technischen Sauberkeit - Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile [3]; Teil 2: Technische Sauberkeit in der Montage - Umgebung, Logistik, Personal und Montageeinrichtungen [4]) bearbeitet. Darin werden sehr systematisch und umfassend alle Aspekte partikulärer Rückstände beleuchtet, so dass die VDA-19 Reihe weit über die Grenzen der Automobilindustrie hinaus das Standardwerk hinsichtlich Partikel darstellt. Da bei feinstpartikulären bzw. pigmentartigen Flächenverunreinigungen ( $\leq 5 \mu\text{m}$  Größe) die chemischen Eigenschaften die physikalischen Eigenschaften überwiegen, können die nachfolgenden Ansätze zur Beurteilung/Bewertung filmischer Verunreinigungen prinzipiell auch für feinstpartikuläre bzw. pigmentartige Flächenverunreinigungen angewendet werden. Häufig treten sie in der Kombination mit filmischen Verunreinigungen auf und verursachen ähnliche Problemstellungen bei Folgeprozessen.

#### 2. *Filmic contamination*

*The permitted degree of residual contamination present on the surfaces of parts is increasingly becoming a key quality criterion and is well on the way to becoming a part characteristic referred to as surface cleanliness, in the same way as length, width or height. In this regard, the permitted degree of surface contamination always depends on i) the downstream process step and/or ii) the intended final purpose of the part.*

*In principle, a distinction can be made between different types of contamination: biological, particulate and chemical/filmic contamination. Biological residues are particularly relevant for medical equipment. They are fairly well understood and standardised with regard to their nature, behaviour and the available cleaning and detection procedures. This issue of particulate contamination was addressed within the framework of the VDA 19 series Technical Cleanliness (Part 1: Particulate Contamination of Functionally Relevant Automotive Components [3]; Part 2: Technical Cleanliness in Assembly – Environment, Logistics, Personnel and Assembly Equipment [4]). The VDA 19 series provides a very systematic and comprehensive overview of all aspects concerning particulate residues, so that the documents have become standard reference works for particulate matter far beyond the automotive industry itself. Given that the chemical properties of extremely fine particulate or pigment-like surface contamination ( $\leq 5 \mu\text{m}$  in size) outweigh the physical properties, the approaches set out in the following can also be applied, in principle at least, to the assessment/evaluation of the finest particulate, i.e. pigment-like forms of surface contamination. They frequently occur together with filmic contamination and cause similar problems in downstream processes.*

Eine filmische Verunreinigung ist eine dünne, zusammenhängende (nicht-partikuläre) Schicht aus unerwünschten, fremdartigen Bestandteilen auf Teil- oder Vollflächen von Bauteilen. Diese Definition lässt ganz bewusst die chemische Natur offen. So kann eine filmische Verunreinigung organische, anorganische, ionische, neutrale, metallische, nichtmetallische, ... Bestandteile aufweisen. Zu den filmischen Verunreinigungen gehören Öle und Fette, Wachse aber auch Rückstände von Korrosionsschutzmitteln, Beschichtungen, Kühlschmierstoffen und weiteren Fertigungshilfsmitteln. Ebenso dazu gezählt werden Konservierungsmittel, Trennstoffe und -mittel aus den verschiedensten formgebenden Fertigungsprozessen, Klebstoffe sowie Handschweiß und Fingerabdrücke.

Nachfolgend sollen die wesentlichen Grundlagen zum Verständnis filmischer Verunreinigungen und deren Relevanz in modernen Fertigungsprozessen gelegt werden. Nach einigen Definitionen und Begriffen, die für diese Richtlinie einheitlich geregelt werden sollen, werden Vorkommen und Quellen für filmische Verunreinigungen aufgeführt. Ihre vielfältigen Eigenschaften begründen die vielfältigen möglichen Auswirkungen filmischer Verunreinigungen auf Bauteiloberflächen. Daran anschließend wird die Vielzahl der betroffenen Herstellungsprozesse und Branchen stichpunktartig aufgeführt. Abschließend wird der Geltungsbereich dieser Richtlinie gefasst.

*Filmic contamination is defined as a thin, contiguous (non-particulate) layer of unwanted and foreign components covering some or all of the part surfaces. This definition deliberately does not address its chemical nature. Hence, filmic contamination may contain organic, inorganic, ionic, neutral, metallic, non-metallic and any other type of components. Films that contaminate surfaces may be produced by oils, greases and waxes, as well as by residues of corrosion inhibitors, coatings, cooling lubricants and other production aids. Also included in this group are preservatives, release agents and substances from the complete range of shaping processes, bonding agents, perspiration from the hands and fingerprints.*

*The following sections will set out fundamental information to improve understanding of filmic contamination and its relevance to modern production processes. Once some definitions of terms that will be standardised in this document have been provided, the incidence and sources of filmic contamination will be listed. Filmic contamination can affect the surfaces of parts in many different ways due to the diverse variety of their properties. The document then goes on to offer a list of the numerous affected manufacturing processes and industries. The scope of this guideline is then defined in a final step.*

## 2. Filmische Verunreinigungen

### 2. *Filmic contamination*

#### 2.1. Definition & Begriffe

##### **Filmische Verunreinigung:**

dünne, zusammenhängende (nicht-partikuläre) Schicht aus unerwünschten, fremdartigen Bestandteilen auf Teil- oder Vollflächen von Bauteilen

(Anm.: Diese Definition lässt bewusst die chemische Natur offen. So kann eine filmische Verunreinigung organische, anorganische, ionische, neutrale, metallische, nichtmetallische, ... Bestandteile aufweisen.)

häufig auch: organische Verunreinigung, chemische Verunreinigung, ölige Rückstände

##### **Fertigungshilfsmittel:**

Gesamtheit aller am Fertigungsprozess unterstützend beteiligten Stoffe

(Anm.: Fertigungshilfsmittel sind häufig Zubereitungen und können aus einer Vielzahl (teilweise bis zu 50) Einzelkomponenten bestehen.)

häufig auch: Prozesshilfsmittel, Produktionshilfsmittel, Fertigungsbegleitstoffe, Verarbeitungshilfsstoffe

##### **Werkstoff:**

Material, aus dem das Bauteil hergestellt ist

häufig auch: Material, Grundwerkstoff

##### **Restschmutz:**

Rückstände von Verunreinigungen auf Bauteiloberflächen

häufig auch: Restverunreinigung, Restkontamination, Rest, Rückstand, Residuum

##### **Sauberkeit:**

Abwesenheit von Verunreinigungen

(Anm.: Analog zu „Stille“ kann Sauberkeit messtechnisch nicht erfasst werden. Lediglich die Menge an Verunreinigungen („Geräusch“) ist messtechnisch zugänglich.)

häufig auch: Reinheit

#### 2.1. *Terms & definitions*

##### ***Filmic contamination:***

*a thin, contiguous (non-particulate) layer of unwanted, foreign components covering some or all of the part surfaces*

*(NB: This definition deliberately does not address its chemical nature. Hence, filmic contamination may contain organic, inorganic, ionic, neutral, metallic, non-metallic and any other type of components).*

*frequently also: organic contamination, chemical contamination, oily residues*

##### ***Production aids:***

*Totality of all substances involved in the production process*

*(NB: Production aids are frequently preparations and may consist of many different (sometimes as many as 50) individual components).*

*frequently also: Production aids, manufacturing auxiliaries, production aids, production aids*

##### ***Material:***

*Material used to manufacture the part*

*frequently also: Material, base material*

##### ***Residual contamination:***

*Residues of contamination on the surfaces of parts*

*frequently also: Residual contamination, residue*

##### ***Cleanliness:***

*Absence of contamination*

*(NB: Like 'silence', cleanliness cannot be measured. It is only possible to measure the quantity of contamination ('noise').*

*frequently also: Purity*

# 2. Filmische Verunreinigungen

## 2. Filmic contamination

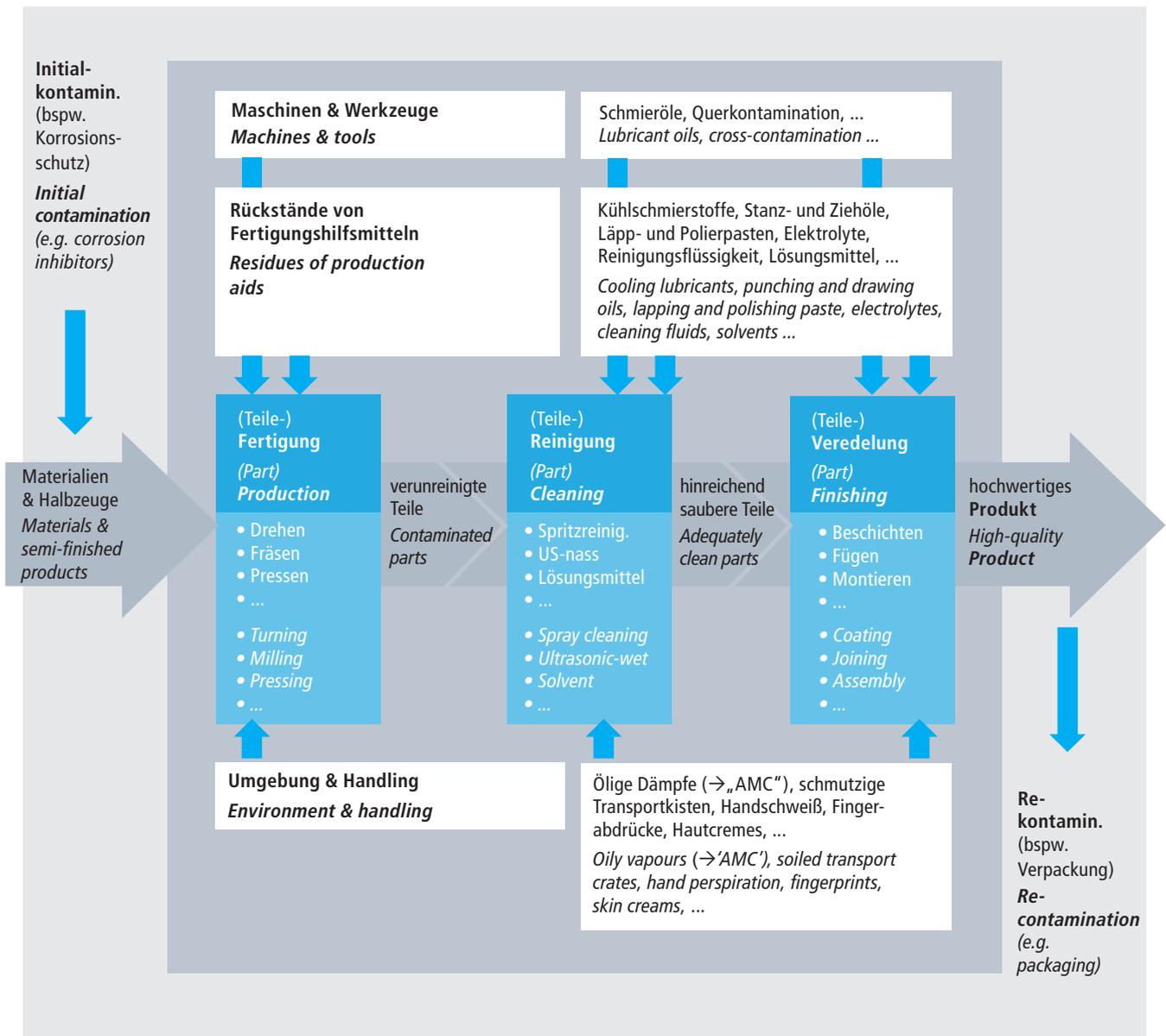


Abb. 1: Schematische Prozesskette und mögliche Quellen für filmische Verunreinigungen [Quelle: VACOM]  
Fig. 1: Schematic process chain and potential sources of filmic contamination [Source: VACOM]

### 3.4 Mess-, Prüf-, Analyse-Techniken

Zum Nachweis von filmischen Verunreinigungen auf Bauteiloberflächen existieren eine ganze Reihe an Mess-, Prüf- und Analysemethoden. Die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden stellen eine Auswahl der gängigsten Verfahren dar und sind in Abb. 8 tabellarisch aufgeführt. Sie reichen von einfachen Tests (Sichtprüfung, Wasserablaufprobe/Wasserbruchtest, Testtinte) über (semi-)quantitative Messungen (Kontaktwinkel, Fluoreszenzmessungen), die mit überschaubarem Equipment im Prozess (in-line) bzw. nahe am Prozess (at-line) durchgeführt werden können. Weiterhin werden einfach anzuwendende analytische Methoden (ATR-FTIR, VIDAM, TOC) vorgestellt, die at-line an der Prozesskette durchgeführt werden können, sowie elaborierte oberflächenanalytische Methoden (FTIR, TD-GC-MS, XPS, TOF-SIMS), für deren Anwendung etablierte Analytiklabore zu Rate gezogen werden sollten.

Jede dieser Nachweismethoden koppelt an eine oder mehrere der in Kap. 2.3. vorgestellten Eigenschaften filmischer Verunreinigungen an. Dabei sind filmische Rückstände typischerweise ein Konglomerat aus organischen und anorganischen, ionischen und anionischen, ... Einzelbestandteilen. Entsprechend sind die Eigenschaften der Verunreinigung häufig eine Überlagerung der Einzeleigenschaften der Einzelbestandteile. Hinsichtlich des Nachweises von Rückständen ist das von Vorteil, da häufig mehrere Nachweismethoden verwendet werden können, die an teils unterschiedliche chemische/physikalische Eigenschaften der Verunreinigung ankoppeln.

Grundsätzlich müssen die Aufgaben „Messen“, „Prüfen“ und „Analysieren“ unterschieden werden beim Anwenden der in diesem Kapitel vorgestellten Methoden. Dabei bezeichnet der Vorgang des Messens die Feststellung einer Größe bzw. die Erhebung eines Messwertes. Liegt ein zum Messwert gehöriger Sollwert vor und wird der Messwert mit diesem verglichen, handelt es sich um eine Prüfung. Die genauere Untersuchung der Zusammensetzung wird als Analysieren bezeichnet.

### 3.4. Measuring, verification and analytical techniques

*A plethora of measuring, verification and analytical methods exist for the detection of filmic contamination on part surfaces. The methods presented in this section are a selection of the most common procedures and are listed in tabular form in Fig. 8. They extend from simple tests (visual inspections, water run-off test/water break test, test ink), to (semi-) quantitative measurements (contact angle, fluorescence measurement) that can be implemented in- or at-line using a modest set of equipment. In addition, it presents analytical methods that are easy to apply (ATR-FTIR, VIDAM, TOC) and that can be performed at-line in the process chain, as well as elaborate surface analysis methods (FTIR, TD-GC-MS, XPS, ToF-SIMS) that should only be performed after consulting with established analysis laboratories.*

*Each of these detection methods connects to one or several of the properties of filmic contamination presented in Sec. 2.3. This is because film residues are typically a conglomerate of organic and inorganic, ionic and anionic ... individual components. It follows, therefore, that the contamination properties frequently represent an overlapping of the individual properties of the respective components. This is an advantage when it comes to detecting residues, since in many cases it allows the use of several detection methods that relate to sometimes different chemical/physical properties of the contamination.*

*As a rule, a distinction must be made between the tasks of 'measure', 'test' and 'analyse' when using the methods introduced in this section. In this regard, 'measuring' describes the measurement of a parameter, i.e. the recording of a measurement value. 'Verification' means that a target value is available for a measurement, which is then compared with the measurement. 'Analysis' is a more precise investigation of the composition.*

## 4. Lösungsansätze der Teilereinigung

### 4. Solutions for parts cleaning

#### 4. Lösungsansätze zu typischen Aufgabenstellungen der Teilereinigung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden Grundlagen zur Vermeidung, Erkennung und Beseitigung von filmischen Verunreinigungen auf Bauteiloberflächen vermittelt. In diesem „Praxisteil“ der Richtlinie werden die Grundlagen miteinander verknüpft und Lösungsansätze zu typischen Aufgabenstellungen in der Teilereinigung geboten.

Die typischen Aufgabenstellungen für Anlagenbetreiber und Prozesskettenführer beginnen mit der optimalen Prozessgestaltung. Reinigungsprozesse systematisch und qualitätsgerecht aufzusetzen und zu führen, geht notwendigerweise einher mit der Kenntnis des Bauteilzustands entlang des Reinigungsprozesses und der Überwachung der Wirk- und Störstoffe im Prozess. Die Teilereinigung als unterstützende, bauteilveredelnde Maßnahme ist immer Teil einer komplexeren Gesamt-Prozesskette. Daher gilt es häufig Grenzwerte für hinreichende Teilesauberkeit zu ermitteln. Dabei ist stets der Leitsatz zu berücksichtigen: „So sauber wie nötig statt so sauber wie möglich!“

Neben der Prüfung der Sauberkeit von relevanten Funktionsflächen ist das systematische Begegnen von Prozessanpassungen und Prozessstörungen eine häufige, stets unbeliebte Aufgabenstellung. Dabei sind Prozessanpassungen vorab bekannt und idealerweise sogar geplant, so dass eine systematische Vorgehensweise in einem entsprechend ausgelegten Zeitraum angewendet werden kann. Bei ungeplant auftretenden Prozessstörungen ist jedoch häufig keine Zeit zu verlieren, da jede Minute zählt – eine systematische Bearbeitung insbesondere durch die Identifikation der Quellen der chemischen/filmischen Verunreinigungen führt jedoch erfahrungsgemäß zügig und nachhaltig zurück zum stabilen Prozess.

Ein mit diesen typischen Aufgabenstellungen einhergehender Inhalt dieses Kapitels ist die Darstellung der in Kap. 3.4. vorgestellten Mess-, Prüf- und Analysetechniken in der Anwendung.

#### 4. Practical solutions for typical tasks within parts cleaning

*The previous sections have dealt with the basics of avoiding, recognising and removing filmic contamination from the surfaces of parts. This 'practical' part of the guideline connects the dots within this basic knowledge to present possible solutions to common tasks encountered within parts cleaning.*

*The typical tasks facing system operators and process chain managers start with the optimised design of the process itself. By necessity, the systematic and quality-assured installation and management of cleaning processes goes hand in hand with knowledge of the part's condition at every stage of the cleaning process and with monitoring of the active agents and impurities throughout the process. As a supportive measure within parts finishing, cleaning of the parts is always one element within a more complex, overall process chain. In many cases, it is therefore necessary to identify thresholds for adequate part cleanliness. This must always be based on the following principle: "As clean as necessary, and not as clean as possible!"*

*Besides testing the cleanliness of relevant functional surfaces, a frequent but unpopular task is to find means of accommodating process adjustments and disruptions. Here, process adjustments are known in advance and ideally will be planned, enabling a systematic procedure within a suitably scheduled time frame. In contrast, time is mostly of the essence with precipitous, unplanned process disturbances, as every second will count – although a systematic approach to the issue by identifying sources of chemical/filmic contamination will, as experience has shown, quickly and sustainably restore process stability.*

*The measurement, verification and analysis techniques presented in Sec. 3.4. are typical ways of approaching this kind of task.*

## 4.1 Optimale Prozessführung: systematisch und qualitätsgerecht

Grundlage für das systematische Vorgehen zur qualitätssichernden Prozessführung mit Ziel: „Bauteilsauberkeit stabil und effizient sichern“ ist die detaillierte Analyse der Prozesskette Teileherstellung, die in Abb. 29 schematisch dargestellt ist.

## 4.1. Optimised process management: systematic and quality-assured

Underlying this systematic procedure for quality-assured process management with the aim of 'maintaining stable part cleanliness by efficient means' is a detailed analysis of the process chain for part production, as shown schematically in Fig. 29.

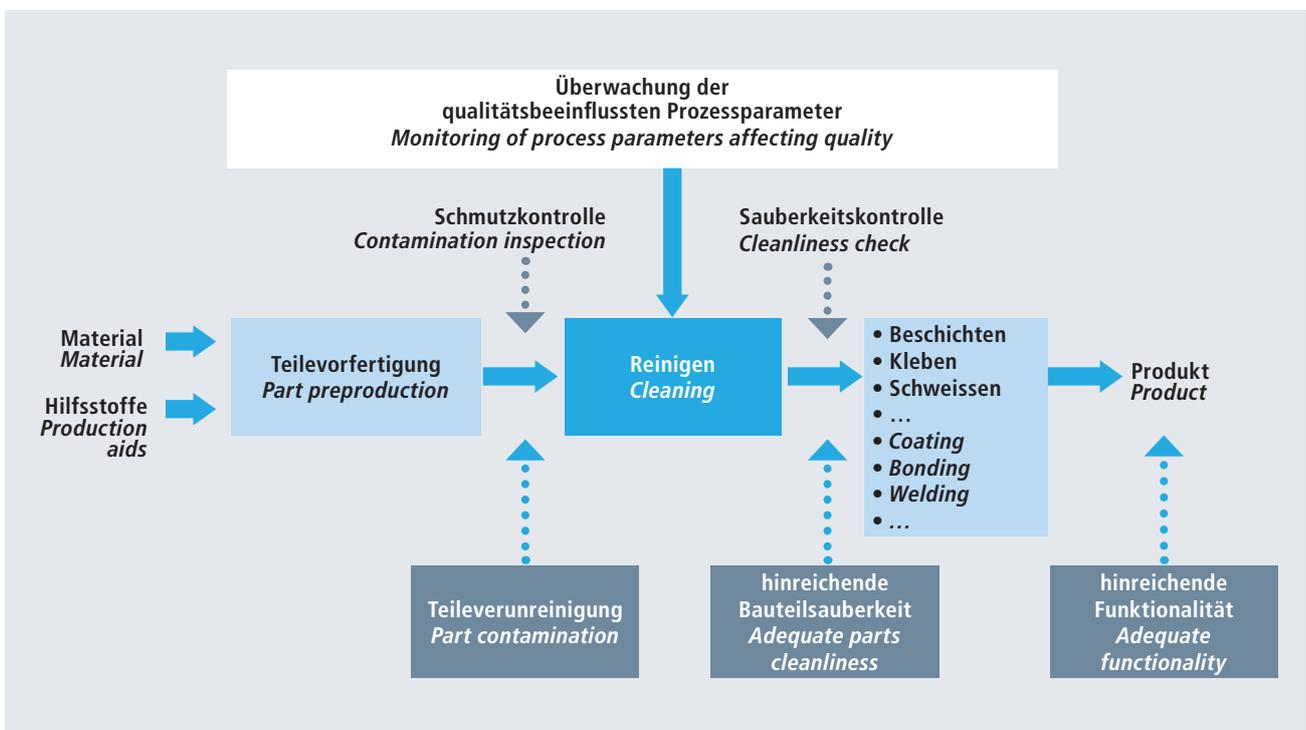


Abb. 29: Schematische Darstellung der Prozesskette Teileherstellung [Quelle: SITA Messtechnik]  
 Fig. 29: Schematic overview of the parts production process chain [Source: SITA Messtechnik]

Damit werden die aufgabenspezifischen Schnittstellen für das Reinigen definiert. Die Schwerpunkte sind die Art und Menge der Teileverunreinigungen, und die Anforderungen an die Bauteilsauberkeit in Bezug zu nachfolgenden Prozessschritten (z.B. Kleben) gemäß der geforderten Funktionalität (z.B. Dichtheit des Gehäuses durch definierte Festigkeit der Klebeverbindung).

Dies ist die Basis für das Festlegen der Soll- und Grenzwerte der Kontrollparameter in Abstimmung mit den jeweils gewählten Prüf- und Messverfahren.

This defines the task-specific interfaces for cleaning. The main focal points are the type and quantity of part contamination and the demands made on part cleanliness by downstream process steps (e.g. bonding) in order to fulfil the necessary functionality (e.g. leak tightness of the housing based on defined bond strength).

This is the foundation upon which to determine the target and threshold values for control parameters, depending on the individually selected verification and measuring methods.

## 4. Lösungsansätze der Teilereinigung

### 4. Solutions for parts cleaning

Die Kenntnis der Wirkungszusammenhänge zwischen der geforderten Bauteilsauberkeit und den qualitätsbeeinflussenden Prozessparametern (z.B. Reinigerkonzentration oder Verschmutzungsgrad im Prozessmedium) sowie darauf abgestimmte Lösungen für deren regelmäßige Überwachung sind Voraussetzung für eine qualitätssichernde Prozessführung zum Erreichen einer hohen Prozessqualität.

Maßstab für das Qualitätsniveau eines Reinigungsprozesses ist das sichere Erfüllen der geforderten Bauteilsauberkeit, charakterisiert durch die Fähigkeit des Prozesses den vorgegebenen Grenzwert für eine hinreichende Bauteilsauberkeit mit bestimmter Wahrscheinlichkeit nicht zu unterschreiten. Die Zielstellung einer idealen, d.h. bestmöglichen Sauberkeit ist nicht praktikabel und unwirtschaftlich.

Die Prozessfähigkeit liefert eine Aussage darüber, inwieweit der Reinigungsprozess in der Lage ist, den geforderten Bereich für die Bauteilsauberkeit einzuhalten. Sie ist definiert als Verhältnis Prozessstreuung (bestimmt durch Ist-Werte der Bauteilsauberkeit z.B. als Messwerte der Fluoreszenzintensität bei der Bauteilkontrolle hinsichtlich filmischer Verunreinigungen) und zulässiger Toleranzbreite (bestimmt durch den Grenzwert für die Bauteilsauberkeit).

Abb. 30 veranschaulicht die Zusammenhänge am Beispiel einer Prozessoptimierung. Dargestellt ist die Verteilung der Messwerte zur Sauberkeitskontrolle.

*The introduction of quality-assured process management with the ability to achieve high process quality is predicated upon knowledge of the interdependencies between the required part cleanliness and the process parameters affecting quality (e.g. detergent concentration or degree of contamination in the process medium), as well as of coordinated solutions for their regular monitoring.*

*The yardstick for identifying the quality standard of a cleaning process is its capacity to reliably achieve the necessary level of part cleanliness. Characteristic of this is its ability, with a certain degree of probability, to remain above the prescribed limit for adequate part cleanliness. Framing cleanliness as an ideal, i.e. best possible, state is neither practical nor economic.*

*Process management delivers a statement on the ability of the cleaning process to remain within with the required range of part cleanliness. This is defined as the ratio between process variance (determined by the actual values of part cleanliness, e.g. as measured values of fluorescence intensity when testing the parts for filmic contamination) and the permissible tolerance range (determined by the thresholds for part cleanliness).*

*Fig. 30 uses process optimisation as an example to visualise the correlations. It shows the distribution of values measured during a cleanliness test.*

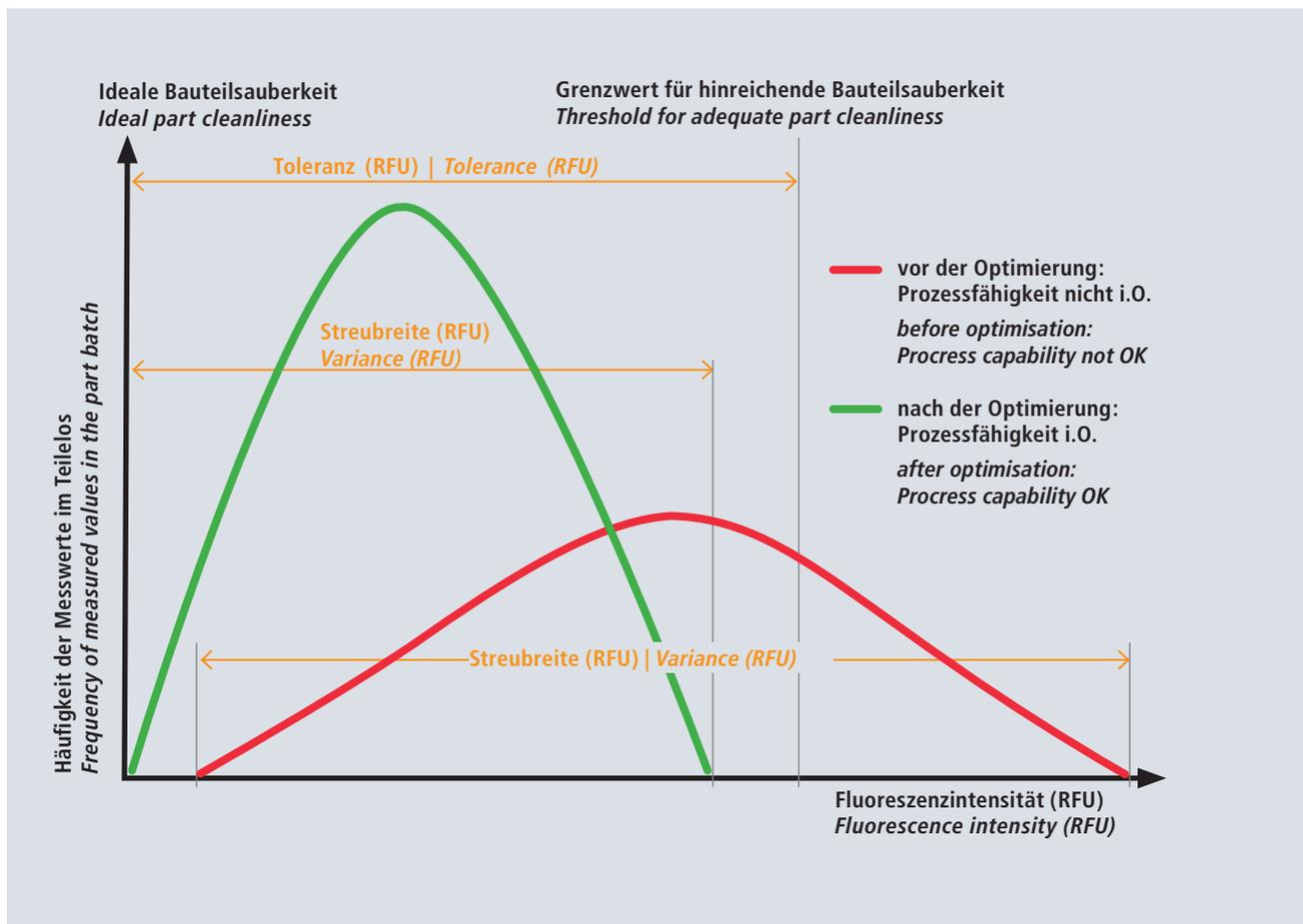


Abb. 30: Beispielhafte, schematische Verteilung der Messwerte in der Sauberheitskontrolle mittels Fluoreszenzmessgerät  
[Quelle: SITA Messtechnik]

Fig. 30: Exemplary, schematic distribution of the measured values obtained during cleanliness tests using a fluorescence measuring device  
[Source: SITA Messtechnik]

Hohe Prozessqualität bedeutet hohe Prozessfähigkeit, d.h. gegen Störungen und verfahrensbedingte Veränderungen unanfällige, robuste, beherrschte Prozesse, die auf Puffer aller Art weitgehend verzichten können. Die FiT-Leitlinien für eine qualitätssichernde Prozessführung in der Bauteilreinigung [1] enthalten Grundsätze und Denkprinzipien zum diesbezüglichen Gestalten, Beherrschen und Optimieren der Reinigungsprozesse aus der Sicht von Chemie und Verfahren sowie Anlagen-, Mess- und Prüftechnik.

A high process quality means high process capability, i.e. robust, controlled processes that are insusceptible to method-related changes and that can largely do without buffers of all kinds. The FiT guidelines for quality-assured process management in parts cleaning [1] contain rules and principles for the design, control and optimisation of parts cleaning processes from the perspective of chemistry and methodology, as well as with regard to the system, measuring and verification equipment.