



FiT Paper



**FACHVERBAND
INDUSTRIELLE
TEILEREINIGUNG E.V.**

www.fit-online.org

Fertigungsprozesse planen und optimieren: Technische Sauberkeit als Schlüssel zur Prozessqualität

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Einführung wichtiger Begriffe	3
2.1. Prozesskette	4
2.1.1. Operation	4
2.1.2. Start und Ziel	5
2.1.3. Quality Gate	5
2.1.4. Reinigungsaufgabe	5
2.2. Reinigbarkeit	5
2.3. Sauberkeitsspezifikation	6
3. Aufgaben bei Prozessplanung, -umsetzung, -aufrechterhaltung und -optimierung	6
3.1. Erarbeitung von Sauberkeitsgrenzwerten	6
3.1.1. Anwendung vorgegebener Grenzwerte	6
3.1.2. Anwendung vorgegebener Grenzwerte	7
3.1.3. Experimentelle Grenzwertfindung	7
3.2. Planung eines Prozesses	8
3.2.1. Ermittlung der sauberkeitsrelevanten Operationen	8
3.2.2. Vereinbarung einer Sauberkeitsspezifikation	9
3.2.3. Erstellen eines Cockpits	9
3.2.4. Festlegen der Quality Gates	10
3.2.5. Betrachtung der Beeinflussung	13
3.2.6. Betrachtung der Beeinflussung	14
3.3. Ursachenfindung bei Abweichungen von Sauberkeitsgrenzwerten	17
3.4. Betrachtung des Folgeprozesses	19
3.5. Maßnahmen bei Prozessänderungen	19
3.6. Maßnahmen bei Optimierungen	21
4. Bauteil- und Prozessüberwachung	23
4.1. Bauteilüberwachung	23
4.2. Prozesskontrolle	24
5. Anwendungsbeispiele	25
5.1. Neuplanung eines Prozesses am Beispiel Schraubenherstellung	25
5.1.1. Erstellen von Cockpits/Schnittstellenbetrachtung	26
5.1.2. Planung des Reinigungsprozesses	27
5.1.3. Prozessanalytik für den Reinigungsprozess vor dem Einsatz härten	28
5.2. Prozessoptimierung am Beispiel Zerspanung von Aluminium-Kurbelgehäusen	29
6. Zusammenfassung	31
7. Weiterführende Literatur:	31

1. Einleitung

Wer Fertigungsprozesse plant oder verantwortet, steht vor zentralen Fragen. Welche Sauberkeitsanforderungen müssen Bauteile erfüllen, damit nachfolgende Schritte reibungslos funktionieren? Ist ein Reinigungsprozess nötig – und wenn ja, sind die Bauteile reinigbar oder sollten Vorprozesse angepasst werden? Wer trägt in welchem Abschnitt die Verantwortung? Und wie lässt sich ein ausreichendes Prozessverständnis aufbauen?

Solche Fragestellungen sind entscheidend, wenn technische Sauberkeit in Fertigungsprozessen eine wesentliche Rolle spielt. Ein strukturiertes Vorgehen klärt Zuständigkeiten, erleichtert die Auswahl geeigneter Methoden und unterstützt dabei, Abläufe gezielt zu planen, umzusetzen und kontinuierlich zu verbessern.

Auch wenn sich Branchen und Produkte unterscheiden, weisen viele Fertigungsprozesse eine vergleichbare Grundstruktur auf. Das eröffnet die Chance, technische Sauberkeit systematisch zu steuern und zugleich das Verständnis für Abläufe zu vertiefen.

Diese Richtlinie beschreibt ein solches Vorgehen: Sie vermittelt allgemeingültige Prinzipien, ergänzt durch praxisnahe Beispiele. Beides lässt sich flexibel entlang der gesamten Prozesskette – von der Rohteilherstellung bis zum fertigen Bauteil – oder in einzelnen Abschnitten anwenden.

Anstelle konkreter Sauberkeitsspezifikationen bietet die Richtlinie ein methodisches Fundament. In Kombination mit prozessspezifischem Know-how entsteht so die Grundlage für saubere, stabile und effiziente Fertigungsprozesse. Sie richtet sich an Prozessverantwortliche, Qualitätsmanager, Planer und Bediener. Damit werden Kommunikation erleichtert, Konflikte vermieden und die Umsetzung technischer Sauberkeit dauerhaft gesichert.

2. Einführung wichtiger Begriffe

Die Prozesskette umfasst sämtliche Schritte, die bei der Herstellung eines Bauteils durchlaufen werden. Für ein einheitliches Verständnis ist es essenziell, diese Schritte klar zu benennen und verständlich sowie nachvollziehbar zu erläutern. Dabei ist die Reinigbarkeit des Bauteils ebenso entscheidend wie die Einhaltung definierter Sauberkeitsspezifikationen.

2.1. Prozesskette

Eine Prozesskette beschreibt alle Teilprozesse, die zur Herstellung eines Bauteils erforderlich sind. Jeder Teilprozess besteht wiederum aus einer Reihe einzelner Operationen („OP“).

Abbildung 1 veranschaulicht diese Begriffe schematisch und zeigt eine Prozesskette bzw. den Teil einer Prozesskette, der im Hinblick auf die technische Sauberkeit betrachtet wird.

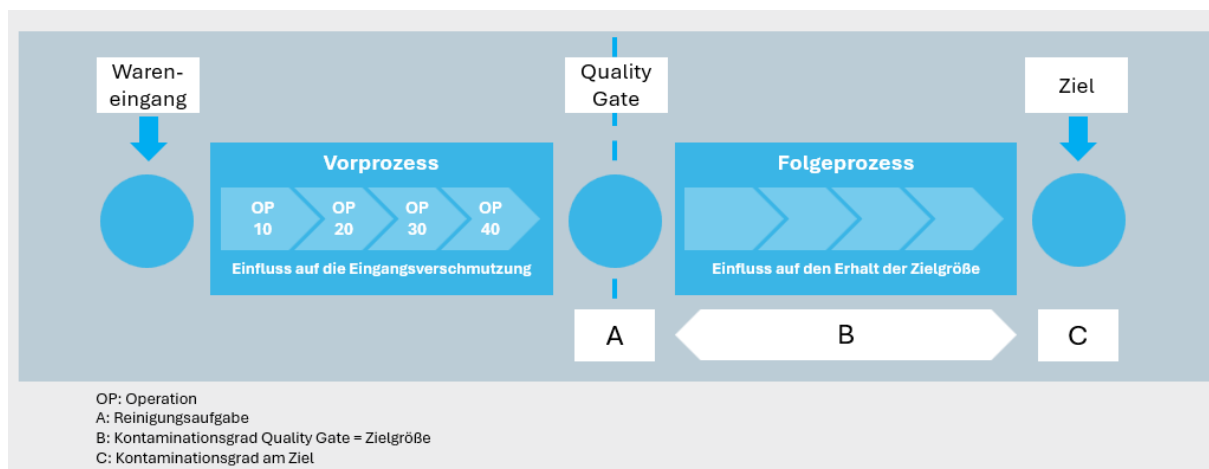


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Prozesskette

2.1.1. Operation

Eine Operation (OP) bezeichnet einen Prozessschritt zur Herstellung von Bauteilen oder Baugruppen innerhalb einer Prozesskette. Je nach Auslegung der Prozesskette besteht diese aus einer unterschiedlichen Anzahl von Operationen. Einzelne OPs können unter dem Aspekt der technischen Sauberkeit zu Teilprozessen zusammengefasst und analysiert werden (Abb. 2).



Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Prozesskette mit Teilprozessen und Operationen

2.1.2. Start und Ziel

Start und Ziel des zu betrachtenden Abschnitts der Prozesskette müssen eindeutig festgelegt sein. Der Start bezeichnet den internen oder externen Materialzulauf zu Beginn der betrachteten Prozesskette oder eines Teilprozesses. Das Ziel ist der räumlich und zeitlich definierte Ort, an dem der geforderte Grad an technischer Sauberkeit sichergestellt sein muss.

2.1.3. Quality Gate

Ein Qualitätskontrollpunkt oder Quality Gate (QG) ist der Ort in der Prozesskette, an dem eine definierte Sauberkeitsspezifikation eingehalten werden muss. Dies kann entweder durch den Vorprozess oder durch eine Reinigungsoperation erfolgen. Das Quality Gate dient als Kontrollstelle zur Sicherung der Qualitätsanforderungen und unterteilt die Prozesskette in Vor- und Folgeprozess:

- Vorprozess:
Der Vorprozess umfasst sämtliche Operationen, die vor dem Quality Gate stattfinden. Diese können sowohl produktions- als auch reinigungsbezogene Schritte beinhalten, die gemeinsam sicherstellen, dass die Anforderungen des Quality Gates erfüllt werden.
- Folgeprozess:
Der Folgeprozess beschreibt alle nachgelagerten Schritte, die nach dem Passieren des Quality Gates bis zum Erreichen des Ziels erfolgen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die definierte Sauberkeit bereits erreicht wurde und erhalten bleibt.

2.1.4. Reinigungsaufgabe

Die Reinigungsaufgabe ergibt sich aus der Differenz zwischen der Eingangsverschmutzung, also der Summe der Verschmutzungen aus dem Vorprozess, und der zulässigen Verschmutzung gemäß der geforderten, eindeutig definierten Sauberkeit am Quality Gate.

2.2. Reinigbarkeit

Der Begriff der Reinigbarkeit bezeichnet die Eignung eines Bauteils, eine bestimmte Sauberkeitsspezifikation mindestens unter realitätsnahen Labor- oder Versuchsbedingungen zu erreichen. Sie ist die grundlegende Voraussetzung dafür, dass die geplante Reinigung oder die Optimierung eines bestehenden Reinigungsprozesses realisierbar ist.

2.3. Sauberkeitsspezifikation

Eine Sauberkeitsspezifikation ist ein technisches Dokument oder eine Vorgabe, die festlegt, welchen Reinheitsgrad ein Bauteil an einem definierten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der Prozesskette erfüllen muss.

3. Aufgaben bei Prozessplanung, -umsetzung, -aufrechterhaltung und -optimierung

Die Planung eines Fertigungsprozesses beginnt in der Regel mit der Auswahl geeigneter Bearbeitungsmaschinen, Fertigungsräume, Logistikkonzepte und des erforderlichen Personals. Wird der Prozess jedoch unter dem Gesichtspunkt der technischen Sauberkeit betrachtet, ist eine gezielte Analyse der Faktoren nötig, die die Sauberkeit beeinflussen. Neben der Definition und Abstimmung von Sauberkeitsspezifikationen bietet die Erstellung von Cockpits eine strukturierte Betrachtung der Prozessschnittstellen sowie die Festlegung sogenannter Quality Gates.

3.1. Erarbeitung von Sauberkeitsgrenzwerten

Die Festlegung von Sauberkeitsgrenzwerten ist ein zentraler Bestandteil qualitätsgesicherter Produktions- und Reinigungsprozesse. Diese Grenzwerte legen den maximal zulässigen Rückstand an partikulären oder filmischen Verunreinigungen auf Komponenten und Oberflächen fest, um die Funktionalität, Lebensdauer und Sauberkeit der Endprodukte sicherzustellen. Welche Methode zur Erarbeitung dieser Grenzwerte gewählt wird, hängt von mehreren Faktoren ab: vom Anwendungsbereich, von vorhandenen Erfahrungswerten und von den spezifischen Anforderungen des Produkts oder Prozesses. Entscheidend ist dabei der jeweilige Folgeprozess, also der Prozessschritt, der eine bestimmte Sauberkeit verlangt.

Im Folgenden werden die gängigsten methodischen Ansätze vorgestellt. Auch eine Kombination dieser Methoden ist möglich.

3.1.1. Anwendung vorgegebener Grenzwerte

In bestimmten Branchen oder Anwendungsfällen existieren bereits festgelegte Grenzwerte – zum Beispiel unternehmensinterne, kundenspezifische oder durch den Folgeprozess definierte Vorgaben. Sie beruhen auf Standards, regulatorischen Anforderungen oder branchenspezifischem Know-how. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen können diese vorgegebenen Grenzwerte direkt übernommen und in den eigenen Reinigungs-

oder Produktionsprozess integriert werden. Dies setzt jedoch voraus, dass die Bedingungen (z. B. Materialien, Reinigungsverfahren, Prozessschritte) vergleichbar sind. Trotzdem sollten auch vorgegebene Grenzwerte immer auf ihre Sinnhaftigkeit geprüft werden.

3.1.2. Anwendung vorgegebener Grenzwerte

In vielen Fällen dienen bereits etablierte Grenzwerte aus ähnlichen Prozessen oder Bauteilen als Ausgangsbasis. Voraussetzung ist jedoch eine sorgfältige Analyse der Vergleichbarkeit. Dabei spielen Faktoren wie Werkstoff, Oberflächenbeschaffenheit, Funktionalität und nachfolgende Prozesse eine entscheidende Rolle. Erfahrungsbasierte Grenzwerte bieten insbesondere in frühen Projektphasen eine praktische Orientierung, bis validierte Werte vorliegen.

3.1.3. Experimentelle Grenzwertfindung

Die experimentelle Herleitung von Sauberkeitsgrenzwerten ist dann erforderlich, wenn keine geeigneten Referenzwerte vorliegen oder spezifische Anforderungen bestehen. In diesen Fällen werden Grenzwerte durch gezielte Versuchsreihen und Funktionsprüfungen ermittelt. Dabei werden unterschiedliche Sauberkeitsniveaus simuliert und mit der Funktionsfähigkeit oder Lebensdauer des Produkts in Beziehung gesetzt. Diese Methode liefert sehr präzise, produktspezifische Grenzwerte und sorgt für eine hohe Prozesssicherheit, ist jedoch auch ressourcenintensiv.

Für die experimentelle Bestimmung von Grenzwerten sind gezielt eine oder mehrere analytische Methoden auszuwählen, die den Grenzwert quantitativ oder qualitativ erfassen. (Eine Übersicht möglicher Methoden bietet die FiT Richtlinie „Filmische Verunreinigungen sicher beherrschen“[1] oder die „VDA 19.1 – Prüfung der Technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile“[2].)

Kasten 1

Beispiele für Verunreinigungen, zu denen Grenzwerte festgelegt werden müssen, sowie deren Auswirkungen auf die Bauteilqualität und die damit verbundenen Risiken für den Prozess.

Partikel:

Metallisch, Fasern, Größe, Menge, ...

→ Folgen: Verstopfte Düsen, Kurzschlüsse, verschmutzte Optik, ...

Filmische Verunreinigungen:

benetzungstörende Substanzen auf dem Bauteil

→ Folgen: Schlechte Benetzbarkeit führt zu Beschichtungs- und Klebefehlern.

abdampfende Substanzen

→ Folgen: Bildung von Poren und Lunkern beim Schweißen/Löten

3.2. Planung eines Prozesses

Für die Planung eines Fertigungsprozesses unter dem Aspekt der technischen Sauberkeit ist es zunächst wichtig, alle Operationen und Teilprozesse festzulegen, die den Gesamtprozess bilden, und die jeweiligen Verantwortlichkeiten eindeutig zuzuordnen.

3.2.1. Ermittlung der sauberkeitsrelevanten Operationen

Bei der Planung eines neuen Fertigungsprozesses spielt die Ermittlung der sauberkeitsrelevanten Operationen eine zentrale Rolle. Alle Verantwortlichen betrachten die gesamte Prozesskette gemeinsam und legen fest:

- an welchen Stellen eine definierte Sauberkeit erforderlich ist (Quality Gates),
- ob ein Reinigungsprozess notwendig wird
- und welche Operationen den Sauberkeitszustand positiv oder negativ beeinflussen.

Abbildung 3 zeigt dies schematisch am Beispiel des Teilprozesses Einsatzhärten nach dem Vorprozess Drehen.

Sind die relevanten Operationen identifiziert, wird festgelegt, welcher Grad an Sauberkeit erreicht werden muss. Das geschieht durch die Vereinbarung einer Sauberkeitsspezifikation.

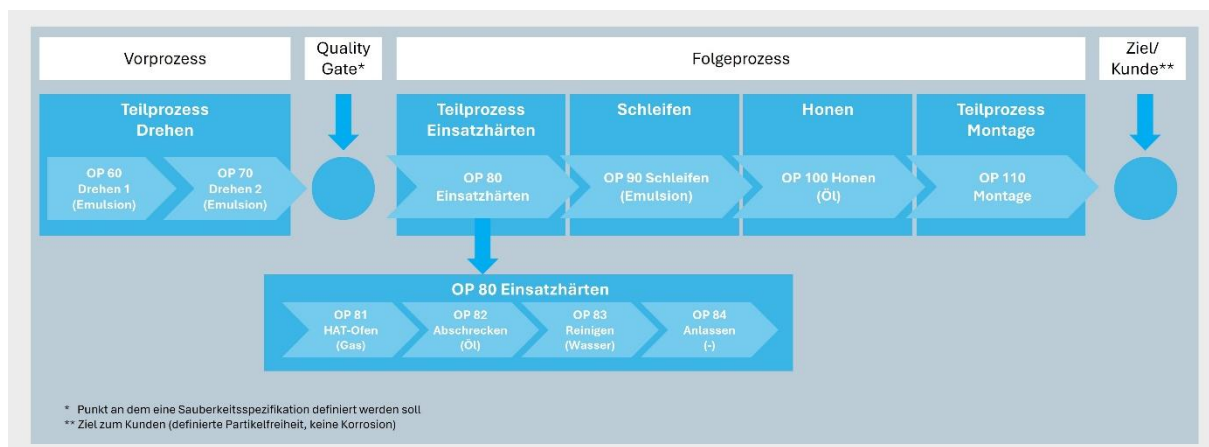


Abbildung 3: Festlegung eines Quality Gates am Beispiel des Teilprozesses Einsatzhärten

3.2.2. Vereinbarung einer Sauberkeitsspezifikation

Die Sauberkeitsspezifikation ist die zentrale Grundlage für die Planung, Bewertung und Optimierung aller sauberkeitsrelevanten Operationen und Teilprozesse. Sie kann sich auf einen einzelnen Teilprozess beziehen (z. B. Wärmebehandlung) oder aus den funktionalen Anforderungen einer Baugruppe oder eines Systems am Ende der Prozesskette abgeleitet werden (z. B. Einspritzsystem im Automobilumfeld).

Werden die Sauberkeitsanforderungen zu niedrig angesetzt oder nicht eingehalten, wirkt sich das negativ auf den direkten Folgeprozess oder auch erst in späteren Prozessschritten aus. Werden die Anforderungen hingegen zu hoch angesetzt, kann der Prozess technisch nicht mehr umsetzbar oder wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll sein. Im ungünstigsten Fall sind überzogene Anforderungen überhaupt nicht realisierbar.

Bei der Formulierung einer technischen Sauberkeitsspezifikation sind mindestens folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Beschreibung der unerwünschten Verunreinigung mit Angabe der zugehörigen Ursache-Wirkungs-Beziehung
- Herleitung der erforderlichen Grenzwerte für jede unerwünschte Verunreinigung (spezifische Sauberkeitsanforderung) mit Begründung
- Angabe des Zeitpunkts und des Orts (der Orte) an dem (denen) der geforderte Grad an technischer Sauberkeit erreicht sein muss
- Vorgabe der Prüf- und Messmethoden sowie Prüfintervalle (z. B. DIN 55350 [5]).

Zusätzlich hilfreich sind zudem folgende Informationen, z. B. bei der Auslegung neuer oder Optimierung bestehender Prozesse:

- Beschreibung des Bauteils (Material, Geometrie, erwünschte und unerwünschte Verunreinigungen), ggf. ergänzt durch eine Zeichnung
- Erläuterung möglicher Auswirkungen einer Grenzwertüberschreitung bzw. Risikobewertung
- Hinweis auf mögliche indirekte Einflüsse (Kreuzkontaminationen)
- Festlegung der Verantwortlichkeiten bei Abweichungen, Prozessauslegung, Prüfung usw.

3.2.3. Erstellen eines Cockpits

Nach der Festlegung einer Sauberkeitsspezifikation wird diese gezielt auf die relevanten Schnittstellen innerhalb der Prozesskette angewendet. Ziel ist es sicherzustellen, dass die Bauteilsauberkeit den Anforderungen des nachfolgenden Prozesses entspricht. Zur strukturierten Erfassung und Bewertung eignet sich die Implementierung eines sogenannten Cockpits. Dieses dient der Dokumentation jeder Einzeloperation und enthält eine detaillierte Beschreibung der Anforderungen an den Eingangs- und Ausgangszustand – Input und Output – der jeweiligen Operation. Abbildung 4 zeigt dies exemplarisch anhand eines Drehprozesses.

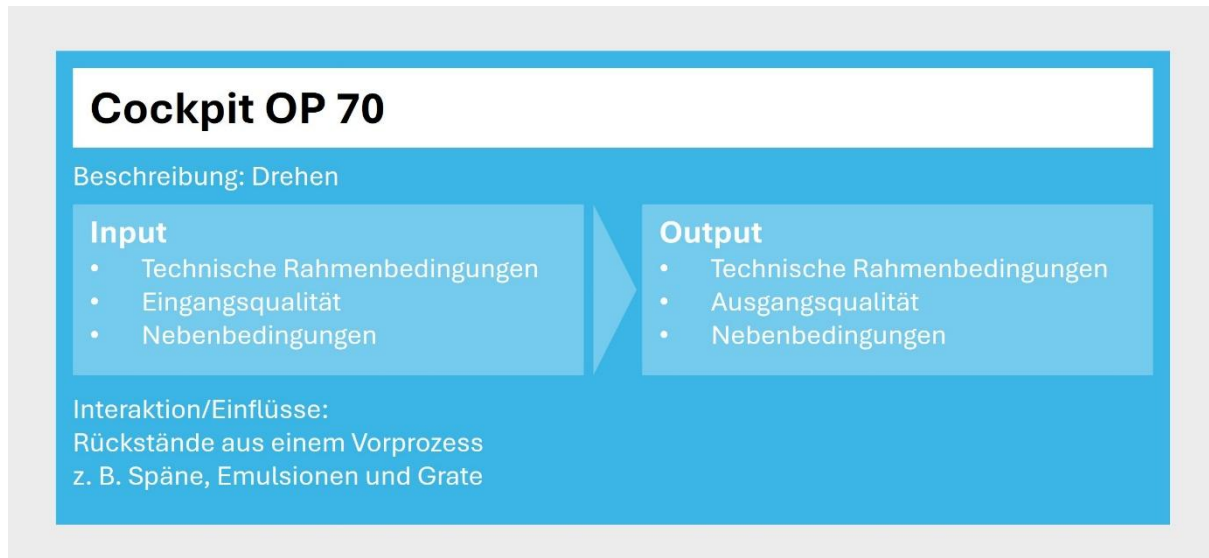


Abbildung 4: Grundstruktur eines Cockpits am Beispiel OP 70 – Drehen

Im Cockpit werden alle relevanten Informationen und Merkmale erfasst, die den Zustand des Bauteils beschreiben. Dazu gehören sowohl die Eingangsdaten als auch die Ergebnisse nach der Operation.

Mögliche Quellen für die Ermittlung der erforderlichen Daten sind:

- Analysewerte von Vergleichsbauteilen
- Fachliteratur, Veröffentlichungen von Fachverbänden und Instituten
- Befragungen von Prozess- oder Operationsverantwortlichen

3.2.4. Festlegen der Quality Gates

Wenn ein Prozessschritt eine definierte Sauberkeit erfordert, wird davor ein Quality Gate festgelegt. An dieser Stelle wird überprüft, ob die festgelegten Anforderungen eingehalten werden. In einer Prozesskette können mehrere solcher Quality Gates vorliegen. Um zu prüfen, ob der Vorprozess die Anforderungen des Folgeprozesses erfüllt, werden die Cockpits beider Prozesse nebeneinander dargestellt und verglichen. Entscheidend ist, ob der Output der ersten Operation die Anforderungen für den Input der zweiten erfüllt.

An dieser Schnittstelle treten zwei mögliche Fälle auf:

- **Spezifikation erfüllt:** Der Vorprozess erreicht bereits die geforderte Sauberkeit. Eine Reinigung ist nicht notwendig.
- **Spezifikation nicht erfüllt:** Eine eigenständige Reinigungsoperation ist notwendig, damit der Nachfolgeschritt ausgeführt werden kann.

Werden bei einem oder mehreren Merkmalen Abweichungen von den Sauberkeitsanforderungen festgestellt, sind geeignete Maßnahmen einzuleiten. Das muss nicht zwingend eine Reinigung sein, auch Optimierungen im Prozessablauf können dazu beitragen, die geforderte Qualität zu sichern.

Sollten die Optimierungen nicht ausreichen, ist eine zusätzliche Operation (z. B. Reinigen) erforderlich. Der Unterschied zwischen Input und Output bestimmt dabei die konkrete Reinigungsaufgabe.

Abbildung 5 zeigt dies anhand eines Teilprozesses: Da die Sauberkeitsspezifikation in OP 80 nicht durch den Vorprozess erreicht wird, ist ein zusätzlicher Reinigungsschritt in OP 75 notwendig.

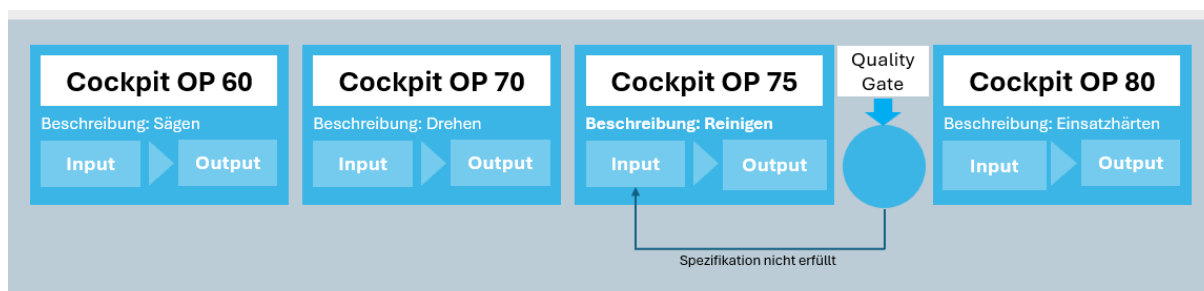


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Teilprozesses mit Quality Gate vor OP 80 und eingeführtem Reinigungsschritt OP 75.

Die detaillierte Beschreibung einer Schnittstelle zeigt Abbildung 6: Dargestellt ist eine Cockpitbetrachtung anhand des Beispiels des Einsatzhärtens nach dem Umformen.

Da OP 30 eine Sauberkeitsanforderung enthält, befindet sich vor dieser Operation automatisch ein Quality Gate. Der Output von OP 20 stimmt nur bei den partikulären Verunreinigungen mit dem Input von OP 30 überein. Bei den filmischen Verunreinigungen liegt jedoch eine Abweichung vor. Daher ist eine zusätzliche Maßnahme erforderlich.

Ein ausführliches Anwendungsbeispiel hierzu wird in Kapitel 5 beschrieben.

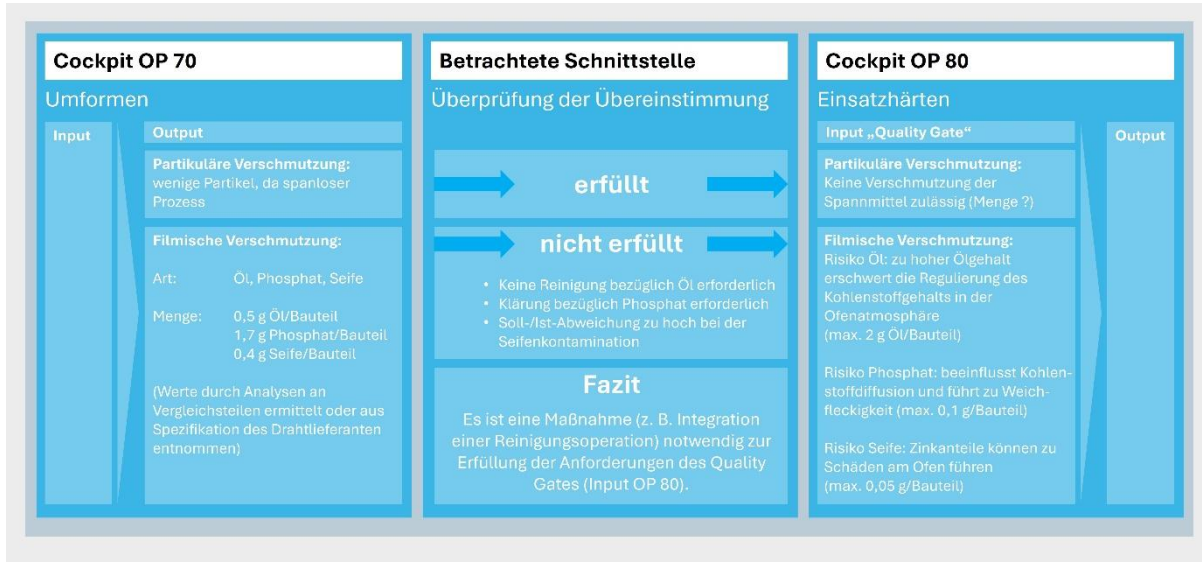


Abbildung 5: Schnittstellenbetrachtung am Beispiel des Einsatzhärtens nach dem Umformen

Kasten 2

Beispiele für Abweichungen zwischen Input und Output aus der Cockpitbetrachtung

Filmische Verunreinigungen

Wenn zwei aufeinanderfolgende Prozesse unterschiedliche Prozessmedien verwenden, entstehen verschiedene Risiken:

- Eingeschleppte Medien verändern die Eigenschaften des zweiten Mediums.
Beispiel: Wird Öl in eine Emulsion eingeschleppt, ändern sich deren Schmiereigenschaften. Der Prozess selbst wird beeinflusst (z. B. Zuschmieren von Schleifscheiben) oder die Aufbereitung der Prozessmediums funktioniert nicht mehr (z. B. verblockende Filter).
- Eingeschleppte Medien beeinflussen die Zuführung zum zweiten Prozess.
Beispiel: Bauteile mit Korrosionsschutzöl kleben aneinander, sodass eine sichere Vereinzelung nicht gewährleistet ist.
- Während des Transports zwischen zwei Prozessen tropft das Medium ab und verschmutzt Transportwege und Logistikflächen.
- Prozessmedien verdampfen bei höheren Temperaturen (z. B. in der Wärmebehandlung) und verändern die Ofenatmosphäre. Dies kann zu ungleichmäßigen Härte-Ergebnissen führen.

Partikuläre Verschmutzungen

- Späne aus dem Vorprozess (z. B. Drehspäne) verschmutzen das Spannmittel des Folgeprozesses. Beispiel: Das Bauteil steht schief in der Aufspannung.
- Partikel beeinflussen das Ergebnis des Folgeprozesses.
Beispiel: Partikel werden eingewalzt.
- Verschmutzte Sensoren liefern falsche Signale.

Grate

Wie Partikel können auch Grate den Folgeprozess beeinträchtigen. Sie erschweren die Aufspannung oder beschädigen Werkzeuge.

Liegezeit zwischen Prozessen

- Unterschiedliche Taktzeiten führen oft zu Zwischenlagerungen. Das Bearbeitungsmedium muss in dieser Zeit einen Korrosionsschutz bieten.
- Trocknet das Betriebsmedium während der Lagerung auf, ist es anschließend möglicherweise nur mit großem Aufwand wieder zu entfernen.

Temperatur

- Ist die Bauteiltemperatur nach dem ersten Prozess sehr hoch, können Maßabweichungen im nächsten Schritt entstehen.
- Werden heiße Bauteile einem Prozess mit brennbarem Medium zugeführt, besteht Brand- oder Explosionsgefahr.

3.2.5. Betrachtung der Beeinflussung

Neben der Analyse einzelner direkt aufeinanderfolgender Operationen ist es wichtig, auch die Auswirkungen weiterer Schritte in der Prozesskette zu berücksichtigen. Jeder Prozessschritt kann Folgen haben, die erst deutlich später sichtbar werden. Die damit verbundenen Risiken sind zu erfassen und geeignete Maßnahmen einzuleiten. Das betrifft nicht nur Bearbeitungsschritte, sondern auch Handling, Verpackung, Lagerung und Transport.

Kasten 3

Beispiele für die Beeinflussung weiterer Schritte in der Prozesskette

Filmische Verunreinigungen

- Trocknet ein Medium an Stellen des Bauteils auf, die später nicht mehr bearbeitet werden, können Rückstände in späteren OPs stören. *Beispiel: Aufgetrocknete Emulsion behindert die Aufkohlung in der Wärmebehandlung.*
- Filmische Verunreinigungen können bei hohen Temperaturen vercracken und sind anschließend nicht mehr löslich. Das beeinträchtigt Optik, Montage und Funktion (z. B. Geräusche, Einpresskräfte).

Partikuläre Verschmutzungen

- Trocknen Partikel mit einem Medium an nicht mehr bearbeiteten Stellen auf, beeinflussen sie die Funktion des fertigen Bauteils. *Beispiel: Partikel am Sitz einer Dichtung oder eines Deckels.*
- Partikel aus frühen Produktionsprozessen werden ins Endprodukt mitgeschleppt und verhindern das Erreichen der geforderten Sauberkeit.
- Partikel in einem Bearbeitungsmedium (z. B. Schleiföl) können eingedrückt werden und beim Honen zu Defekten führen. Diese Partikel werden später bei der Sauberkeitsanalyse nachgewiesen.

Liegezeit zwischen Prozessen

- Bei langen Liegezeiten muss Korrosion verhindert werden, besonders an Flächen, die nicht mehr bearbeitet werden.
- Korrosionsspuren werden in der Sauberkeitsanalyse fälschlicherweise als Schmutz bewertet.

Grate

- Grate können bereits im ersten Prozessschritt (z. B. Drehen) entstehen und bis ins Endprodukt gelangen.
- In der Sauberkeitsanalyse erscheinen sie als Partikel.
- Grate können auch konstruktiv durch das Design des Bauteils verursacht werden.

Umgebungseinflüsse

- Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Staub, Partikel, Ölnebel

3.2.6. Betrachtung der Beeinflussung

Zeigt die Schnittstellenbetrachtung, dass ein Reinigungsprozess notwendig wird, muss geprüft werden, ob das Bauteil überhaupt reinigungsfähig ist. Dies geschieht durch Reinigungsversuche, bei denen überprüft wird, ob das Bauteil die Anforderungen der Sauberkeitsspezifikation erfüllt. Grundlage sind Sauberkeits- und/oder Restschmutzanalysen.

Werden geforderte Grenzwerte überschritten, ist zunächst zu prüfen, ob die Art der Verunreinigung Rückschlüsse auf deren Herkunft zulässt.

- Bei partikulären Anforderungen erfolgt dies z. B. durch eine mikroskopische Analyse des Bauteils.
- Werden keine Grate gefunden, weist das darauf hin, dass andere Ursachen wie Materialfehler (z. B. Lunker) vorliegen.

Zur Absicherung wird eine sogenannte **Abklingprüfung** durchgeführt (vgl. VDA 19 [1]). Dabei wird dasselbe Bauteil sechsmal hintereinander unter idealen Laborbedingungen mit einer definierten Methode gereinigt. Nach jedem Reinigungsschritt wird eine Partikelanalyse (Größe und Anzahl) erstellt.

Die Ergebnisse werden wie folgt bewertet:

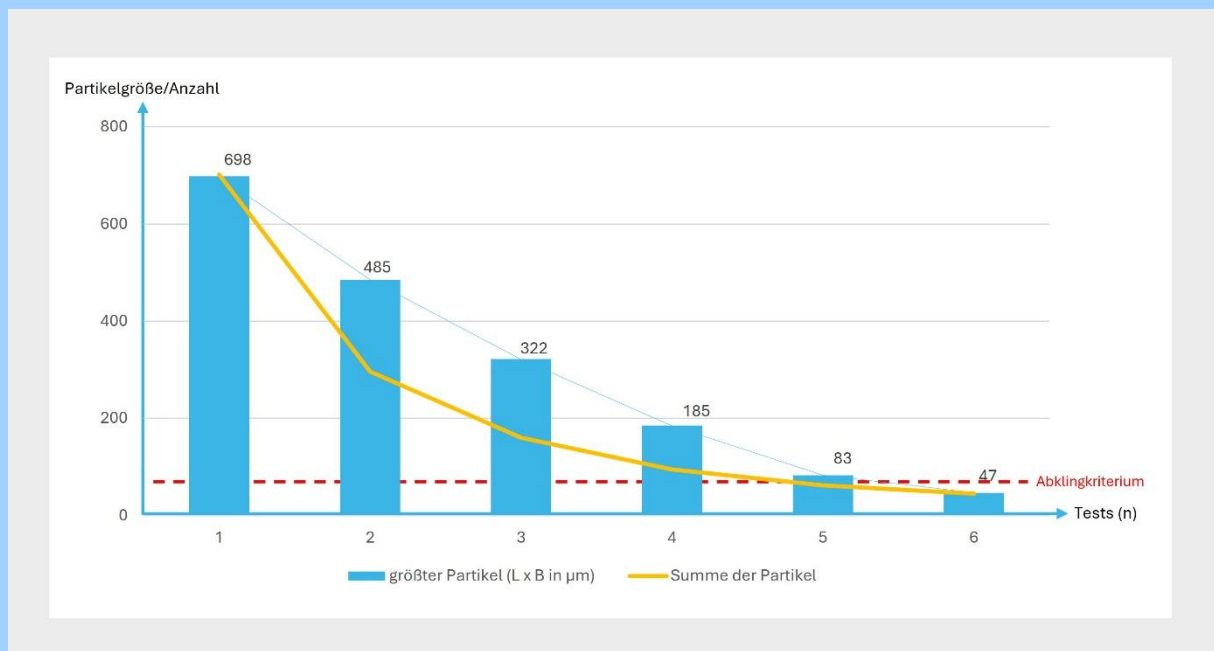
Bei partikulären Sauberkeitsanforderungen gibt die Verteilung der Restpartikel auf die Größenklassen in der Sauberkeitsanalyse einen Hinweis darauf, ob eine Anomalie (z. B. Grate oder Klemmspäne) vorliegt.

- **Homogener Abklingverlauf:** Die Restpartikel sinken gleichmäßig unter die geforderte Partikelgröße. → Das Bauteil ist reinigbar; die Ursache liegt wahrscheinlich im Reinigungsprozess.
- **Inhomogener Abklingverlauf:** Es treten wiederholt unzulässig große Partikel auf. → Das Bauteil ist nicht reinigbar.

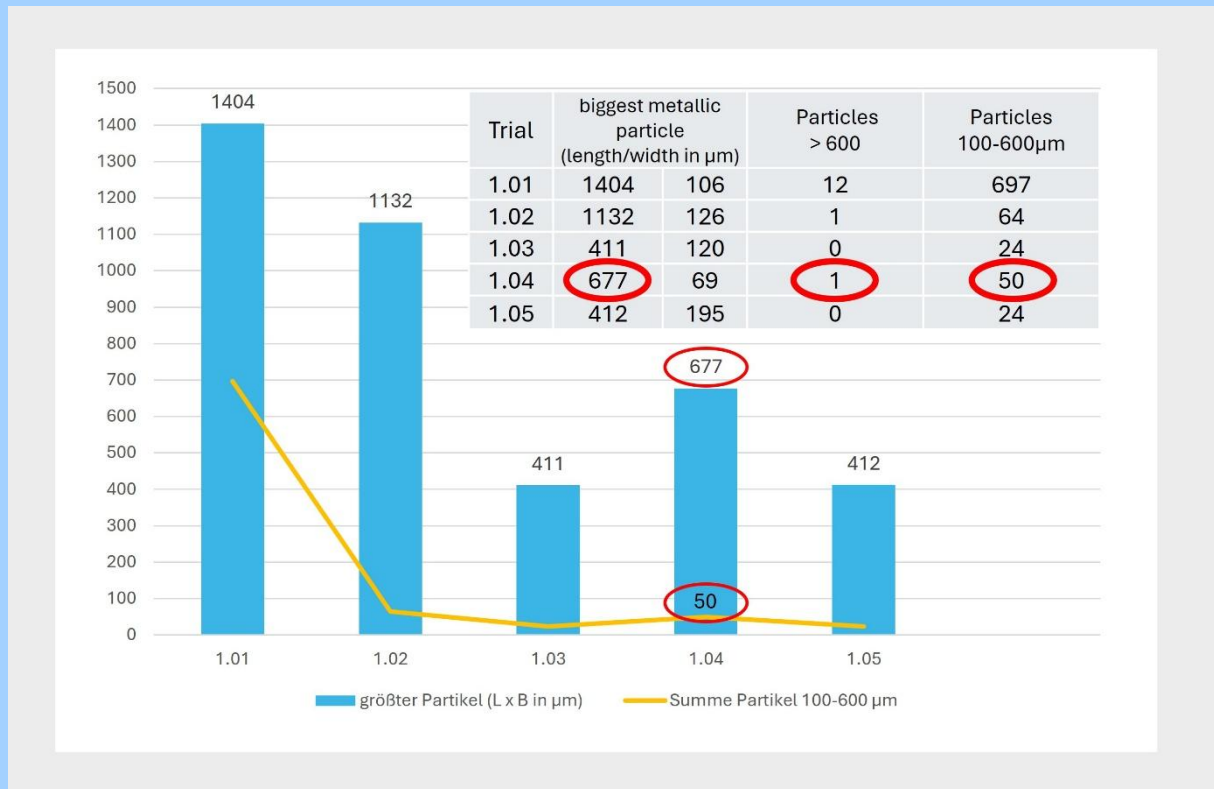
Kasten 4

Abklingprüfung

- Idealtypischer Verlauf einer Abklingkurve: gleichmäßiges Abklingen der Partikelgrößen unter die spezifizierte Grenze



b. Beispiel einer Abklingprüfung mit Zweifeln an der Reinigbarkeit: wiederholt auftretende große Partikel



Eine Reinigbarkeit ist nicht gegeben, wenn Ausschlussgründe vorliegen, wie beispielsweise:

- fehlende Gratfreiheit,
- Magnetismus,
- Klemmspäne
- oder wenn die Verunreinigung so schwer lösbar ist, dass das Grundmaterial beim Reinigungsvorgang beschädigt oder zerstört wird.

Die Reinigbarkeit kann außerdem erschwert sein durch:

- ungeeignete Warenträgersysteme,
- einen nicht auf Bauteil, Geometrie und Verschmutzung angepassten Reinigungsprozess,
- ungünstige Umgebungs- oder Handlingbedingungen,
- wirtschaftlich nicht sinnvolle Reinigungsmaßnahmen.

3.3. Ursachenfindung bei Abweichungen von Sauberkeitsgrenzwerten

Werden die Vorgaben einer Sauberkeitsspezifikation am Quality Gate nicht erfüllt, hilft eine Darstellung wie in Abbildung 7, klare Verantwortlichkeiten zuzuordnen. Gleichzeitig unterstützt sie die gezielte Planung oder Optimierung der gesamten Prozesskette.

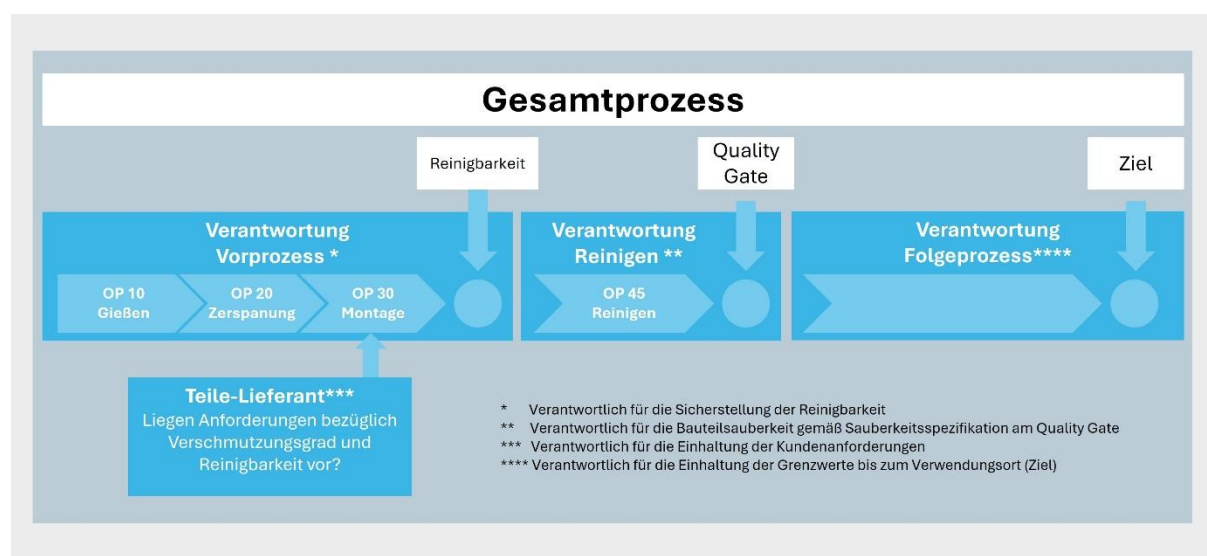


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung der internen Verantwortlichkeiten in Produktionsprozessen

Wird der in der Sauberkeitsspezifikation geforderte Grenzwert überschritten, ist zu klären, ob die Ursache in einem ungeeigneten Reinigungsprozess oder in der fehlenden Reinigbarkeit des Bauteils liegt. Abbildung 8 zeigt dazu einen Entscheidungsbaum, der bei der Klärung des Sachverhaltes helfen kann.

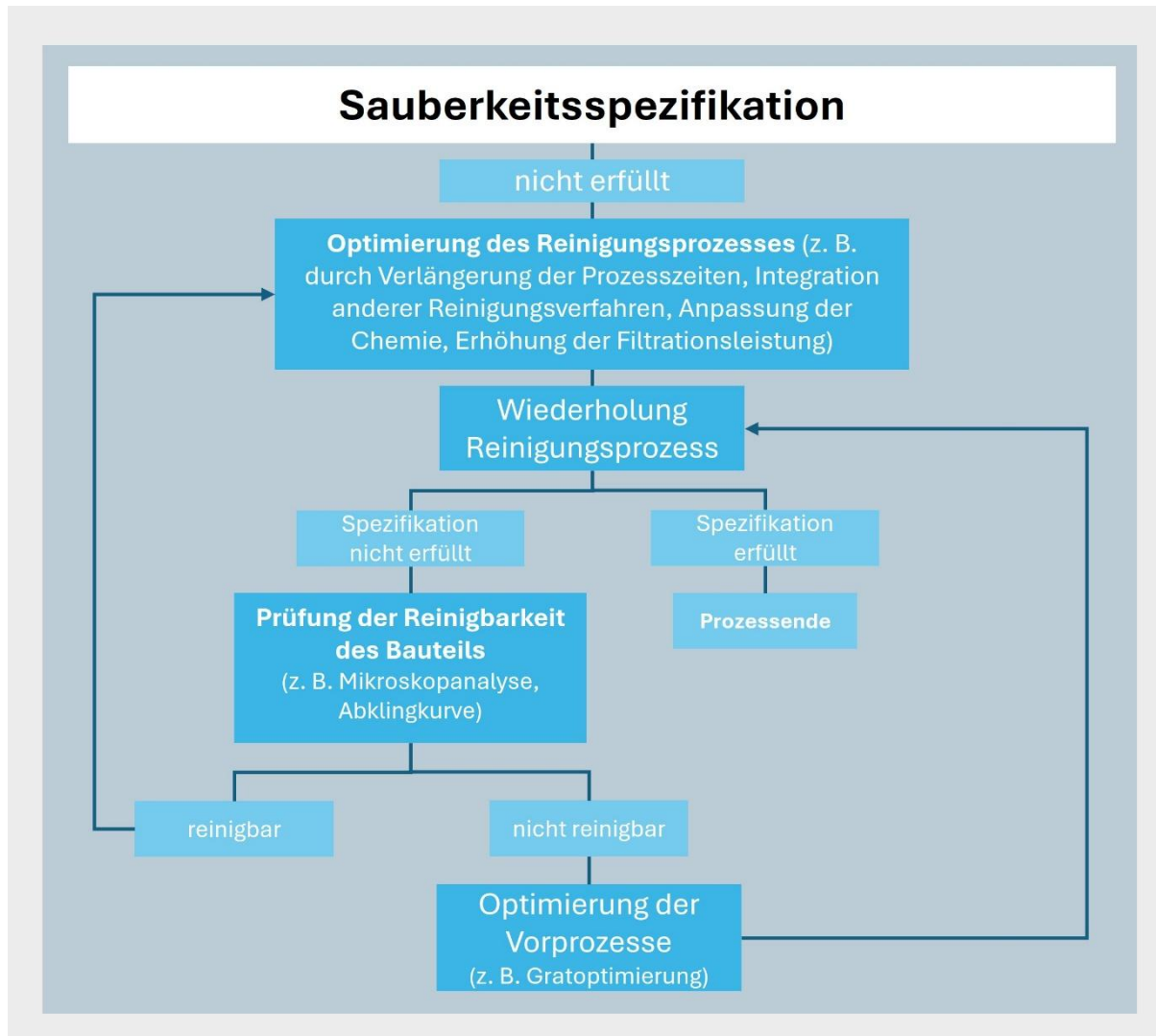


Abbildung 7: Entscheidungsbaum für den Fall, dass eine Sauberkeitsspezifikation nicht erfüllt wird
(Quelle: LPW Reinigungssysteme GmbH)

Kann ein Bauteil nicht ausreichend gereinigt werden, sind zunächst die vorgelagerten Prozesse zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Ist die Reinigbarkeit grundsätzlich gegeben, liegt die Ursache wahrscheinlich im Reinigungsprozess selbst, der optimiert oder geändert werden muss.

Oft erschweren ungünstige Bedingungen die Reinigung. Das kann zu wiederkehrenden Abweichungen führen und die Wirtschaftlichkeit sowie die Effizienz des Gesamtprozesses beeinträchtigen. Auch die Prüfmethode selbst kann ungeeignet sein, beispielsweise wenn durch das Prüfverfahren (z. B. Ultraschallextraktion bei Grauguss) zusätzliche Partikel entstehen.

In seltenen Fällen ist es notwendig, die Sauberkeitsspezifikation oder sogar die Anforderungen an die Produktfunktionalität zu hinterfragen, insbesondere dann, wenn die geforderten Werte mit vertretbarem Aufwand nicht erreichbar sind.

Kasten 5

Mögliche Ursachen für eine Grenzwertüberschreitung

- Starke Schwankungen bei Eingangskontaminationen
- Wechselnde Kontaminationen durch Veränderungen bei Hilfs- und Betriebsstoffen
- Schwer lösbare Kontamination (z. B. Antrocknungen)
- Kontaminations-„Verstecke“ (z. B. in der Geometrie oder im Material)
- Fehlende Transparenz über eingesetzte Betriebs- und Hilfsstoffe von z. B. Lieferanten
- Starke Gratbildung (erfordert separate Entgratoperation)
- Magnetismus
- Klemmspannbildung

3.4. Betrachtung des Folgeprozesses

Im Folgeprozess muss sichergestellt werden, dass die am Quality Gate erzielte Sauberkeitsspezifikation bis zum definierten Ziel erhalten bleibt. Am effizientesten und kostengünstigsten gelingt dies, wenn Reinigung, Quality Gate und Folgeprozess räumlich und zeitlich eng beieinanderliegen. Ist das nicht möglich, sollte geprüft werden, ob ein zusätzliches Quality Gate direkt vor dem Folgeprozess sinnvoller und wirtschaftlicher ist, als die Sauberkeit über die gesamte Strecke hinweg aufrechtzuerhalten.

Kasten 6

Beispiele für die Nähe von Quality Gate zum Folgeprozess

- Gegebene Nähe: Erfolgt das Schweißen direkt nach einer Laserreinigung, besteht eine zeitliche und örtliche Nähe zwischen Quality Gate und Folgeprozess.
- Fehlende Nähe: Findet nach der Reinigung (Quality Gate) noch Verpackung, Lagerung und Transport statt, bevor die Bauteile final montiert werden, geht die zeitliche und örtliche Nähe verloren. In diesem Fall sollte ggfs. ein weiteres Quality Gate eingeführt werden um zu prüfen, ob ein weiterer Reinigungsschritt erforderlich ist.

3.5. Maßnahmen bei Prozessänderungen

Prozessänderungen können aus verschiedensten Gründen notwendig sein. Ihre Behandlung erfolgt nach denselben Prinzipien wie die Prozessplanung. Für die Bewertung lassen sich die gleichen Werkzeuge nutzen, zum Beispiel die Cockpitbetrachtung.

Entscheidend ist, den Einfluss von Prozessänderungen auf den gesamten Fertigungsablauf zu bewerten und einen klaren Informationsfluss sicherzustellen. Abbildung 9 zeigt den Ablauf des Informationsflusses bei Prozessänderungen.



Abbildung 8: Informationsfluss bei Prozessänderungen

Kasten 7 Gründe für Prozessänderungen	
Änderungsgrund	Beispiele
Neues/anderes Rohmaterial	• Komplettes neues Material • Legierungsveränderung • Neuer/anderer Materiallieferant • Veränderung der Legierungstoleranzen • Änderung des Herstellungsprozesses
Veränderungen am Werkzeug	• Material/Legierung • Schneidwinkel • Standzeiten/Wartungsintervalle • Änderungen an der Werkzeugauslegung • Neues/anderes Werkzeug
Veränderungen am Bauteildesign	• Andere Geometrien • Kantenbrüche, Radien • Gratauslegung • Oberfläche (z. B. Rauheit, Traganteil) • Beschichtung
Zusätzliche Anforderungen	• Toleranzänderung • Neue Sauberkeitsanforderungen (z. B. partikulär, filmisch) • Anpassung der Produktanforderungen • Änderung bei Hilfs- und Betriebsstoffen
Rationalisierung (Ratio-Themen)	• Geänderte Taktzeiten • Wegfall von Operationen/Teilprozessen • Verlagerungen • Reduzierte Maschinenwartungen • Veränderungen bei Entgratprozessen
Änderungen am Reinigungsprozess	• Neue oder geänderte Reinigungsanlage • Neues/anderes Reinigungsmedium • Geändertes Reinigungsprogramm • Erhöhte Durchlaufmengen

Sonstige Prozesse	• Veränderte Endprüfung • Änderung der Prüfmethode • Umverpackung • Geändertes Handling
-------------------	--

3.6. Maßnahmen bei Optimierungen

Für Optimierungen gelten die gleichen Grundregeln wie bei der Planung eines neuen Prozesses unter dem Aspekt der technischen Sauberkeit. Im Unterschied dazu liegen reale Daten vor oder können gemessen werden.

Die bereits in der Planungsphase definierten und im Cockpit dokumentieren Operationen werden erneut überprüft. Dabei wird unter anderem kontrolliert, ob der Eingangszustand der Bauteile vor dem zu optimierenden Prozess noch dem in der Planung festgelegten Zustand entspricht. Weichen die Zustände ab, müssen die Schritte auf Grundlage der ursprünglichen Planung wiederholt werden.

Für die Optimierung ist es außerdem hilfreich, den Verlauf des Verschmutzungsgrads des Bauteils über die gesamte Prozesskette hinweg zu erfassen.

Kasten 8 Beispiele für Abweichungen von den Planungsdaten und mögliche Maßnahmen		
Änderung	Problematic	Maßnahme
Änderung des Bearbeitungsmediums von dünnem auf dickflüssiges Öl	Das Reinigungsprinzip entfernt dickflüssiges Öl möglicherweise nicht vollständig oder benötigt dafür deutlich mehr Zeit.	Prüfen, ob das Reinigungsprinzip weiterhin anwendbar ist
Änderung der Schnittparameter bei der Bearbeitung	Es entstehen kleine Partikel, große Wirrspäne oder Grate, die sich im Bauteil verhaken oder fest anhaften und nicht entfernt werden können.	Schnittparameter anpassen oder Entgratoperation integrieren
Einsatz von chlorhaltigem Öl	Chlorhaltiges Öl ist schwerer als Wasser und kann mit Standard-Ölabscheidern nicht entfernt werden, da es nicht aufschwimmt.	Ölabscheider anpassen/ändern

Abbildung 10 zeigt den Verschmutzungsgrad zweier Prozesse für dasselbe Bauteil im Verlauf der Fertigung. Die blaue Kurve steht für den ursprünglichen Prozess, die rote für eine optimierte Prozesskette. In dieser wurden einzelne Operationen angepasst und neue Prozessschritte eingeführt.

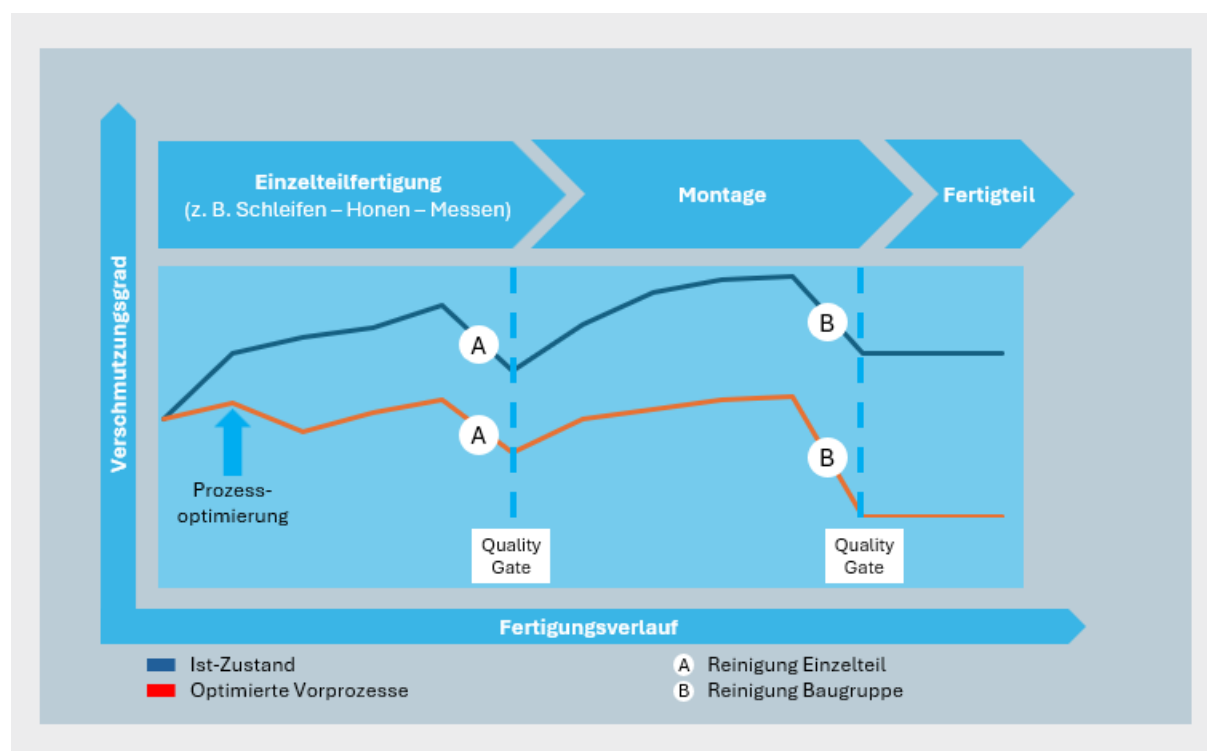


Abbildung 9: Verschmutzungsgrad im Verlauf der Bauteilfertigung für den ursprünglichen und den optimierten Prozess (Quelle: in Anlehnung an VDA 19.2 [5])

Kasten 9 Beispiele für Optimierungen in der Prozesskette	
Änderung	Ergebnis
Feinfiltration des Bearbeitungsmediums beim Schleifen	Reduzierte Schmutzmenge nach dem Schleifen
Einführung eines Entgratprozesses	Sicherstellung der Reinigbarkeit
Reinigung beim Honprozess durch erhöhte Spritzmenge von Honöl	Reduzierte Schmutzmenge nach dem Honen

4. Bauteil- und Prozessüberwachung

Zur Überwachung eines Prozesses müssen zunächst die qualitätskritischen Parameter und deren Grenzwerte definiert werden. Anschließend sind geeignete Methoden zur messtechnischen Erfassung im Prozess zu wählen. Dabei wird zwischen einer Prüfung und einer Analyse unterschieden. Bei einer Prüfung handelt es sich um Schnelltests, die direkt in der Produktion und damit prozessnah durchgeführt werden können. Eine Analyse hingegen wird in einem Labor durchgeführt. Die notwendige Häufigkeit einer Prüfung oder Analyse ist stark prozessabhängig und wird in Voruntersuchungen bestimmt.

4.1. Bauteilüberwachung

Zur Überwachung der Sauberkeit von Bauteilen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Man unterscheidet zwischen Prüfung und Analyse.

- **Prüfung:** Prozessnahe Bestimmungen direkt am Bauteil, die ohne externes Labor möglich sind. Diese Schnelltests liefern meist nur qualitative Aussagen zu einzelnen Parametern und geben daher nur ein begrenztes Bild der Oberfläche.
- **Analyse:** Detaillierte Untersuchungen, z. B. zur Partikelanzahl, die aufwendiger sind, ein Labor erfordern und daher nur mit Zeitverzug zur Verfügung stehen. Sie werden in geringerem Stichprobenumfang und seltener durchgeführt.

In der Praxis hat es sich bewährt, die Häufigkeit aufwendiger Analysen durch den ergänzenden Einsatz prozessnaher Prüfungen zu reduzieren.

Kasten 10

Beispiele für Prüfungen und Analysen

Prüfungen:

- Tüpfeltest zum Nachweis von Phosphat
- Fluoreszenzmessung auf der Bauteiloberfläche zum Nachweis von z. B. Ölrückständen
- Streiflichtprüfungen zur Identifikation von Partikeln auf der Bauteiloberfläche
- Optische Prüfung der Wasserfreiheit von Teilen (Ja/Nein-Ergebnis)
- Benetzungstest mit Testtinten

Analysen:

- Sauberkeitsanalyse zur Ermittlung partikulärer Verunreinigungen (Anzahl der Partikel in verschiedenen Größenklassen)
- EDX-Analyse zur Identifikation der Zusammensetzung einer Verunreinigung
- Ermittlung der Ölmenge auf einem Bauteil mittels Restgasanalyse
- Bestimmung von Restwasser auf Bauteilen durch Wiegen (mg Wasser/Bauteil)
- Benetzungstest über Kontaktwinkelmessung

In der FiT Richtlinie „Filmische Verunreinigungen sicher beherrschen“[1] sowie in „VDA 19.1 – Prüfung der Technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile“[2] sind verschiedene Methoden beschrieben, aus denen je nach Anwendung eine Auswahl getroffen werden kann.

In der Praxis hat es sich bewährt, zu Beginn eines Produktionsprozesses häufiger zu messen. Werden über einen repräsentativen Zeitraum stabile Ergebnisse nachgewiesen, kann die Anzahl der Messungen reduziert oder auf Bedarfskontrollen beschränkt werden.

4.2. Prozesskontrolle

Wie bereits beschrieben, ist eine Sauberkeitsanalyse oft nur stichprobenartig möglich oder sinnvoll. Umso wichtiger ist es daher, die Prozesskette und deren Einfluss auf die technische Sauberkeit zu kennen.

Neben Prüfungen und Analysen am Bauteil kann auch ein Monitoring relevanter Prozessparameter integriert werden. Dabei sollten nur die Parameter überwacht werden, die tatsächlich Einfluss auf die geforderte Sauberkeit haben. Für jeden dieser Parameter sind klare Grenzwerte und geeignete Prüfmethoden festzulegen.

Kasten 11

Beispiele für Prozessparameter, die betrachtet und überwacht werden sollten

Erfolgt **Ver** Einbringung von Verschmutzungen in die Reinigungsanlage

- Mengenüberwachung bei der Aufbringung von Schmierstoffen
- Verschmutzung von Kühlschmierstoffen (z. B. Schmutz- oder Salzgehalt)
- Partikelanhaftung nach spanenden Prozessen

Einfluss eingebrachter Hilfs- und Betriebsstoffe

- Wirkung auf das Reinigungsmedium (z. B. pH-Wert-Erhöhung, Schaumbildung)
- Wirkung auf die Bauteile (z. B. Austrocknung, Oberflächenangriff)
- Spezifikation der eingesetzten Hilfs- und Betriebsstoffe und deren Abstimmung auf den Reinigungsprozess

Parameter einer Reinigungsanlage

- Temperatur
- Mechanik (z. B. Ultraschalleistung oder Spritzdruck)
- Reinigungschemie (z. B. Konzentration, Oberflächenspannung)
- Reinigungszeit

→ d

5. Anwendungsbeispiele

In den folgenden Anwendungsbeispielen wird gezeigt, wie die beschriebenen Methoden und Werkzeuge bei der Neuplanung oder Optimierung eines Fertigungsprozesses angewandt werden können. Außerdem wird dargestellt, welche Schritte notwendig sind, wenn eine vorgegebene Anforderung nicht erfüllt wird.

5.1. Neuplanung eines Prozesses am Beispiel Schraubenherstellung

Frau F. plant die Einführung eines neuen Fertigungsprozesses zur Herstellung von Schrauben. Der Gesamtprozess umfasst die Teilprozesse Umformen, Wärmebehandlung und Beschichtung. Im Fokus steht der Teilprozess der Wärmebehandlung mit den Schritten:

- Hochtemperaturbehandlung (Prozessgas),
- Abschrecken,
- Reinigen,
- Anlassen.

Beim Umformen werden ein Hilfsstoff (ein Gemisch aus Zinkphosphat und Zinkseife) zur Erhöhung der Gleitfähigkeit und ein Kühl-Öl für die Werkzeuge eingesetzt. Die Prozesskette ist in Abbildung 11 dargestellt.

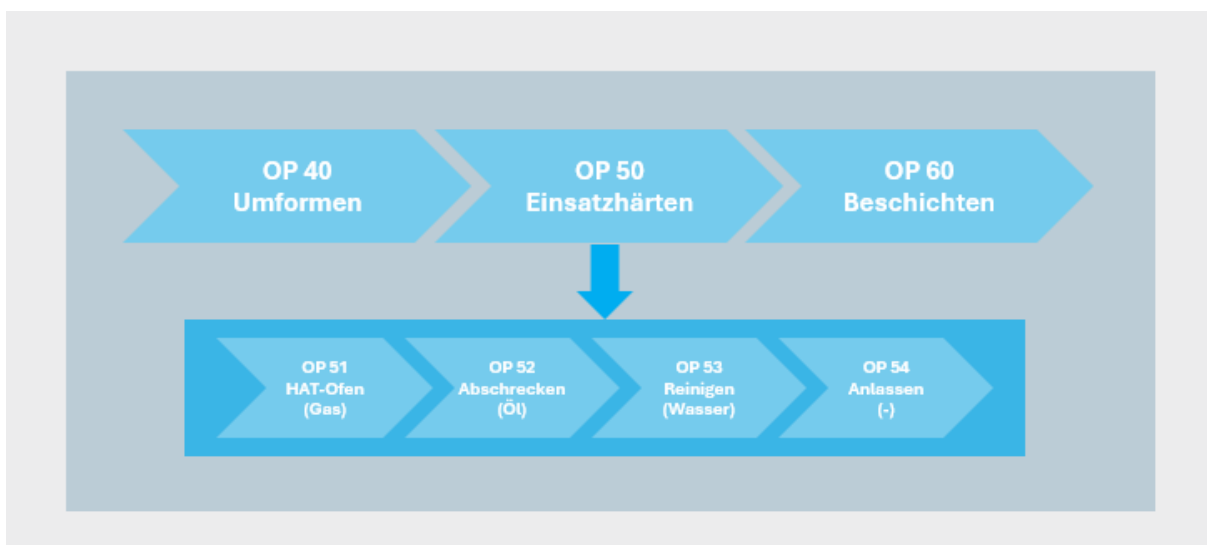


Abbildung 10: Darstellung der Prozesskette einer Schraubenherstellung mit Operationen zum Teilprozess Einsatzhärten

5.1.1. Erstellen von Cockpits/Schnittstellenbetrachtung

Zur strukturierten Bewertung der Prozesskette erstellt Frau F. für jede Operation ein Cockpit. In diesem Beispiel in Abbildung 12 wird die Schnittstelle zwischen den Operationen Umformen und Einsatzhärten betrachtet.

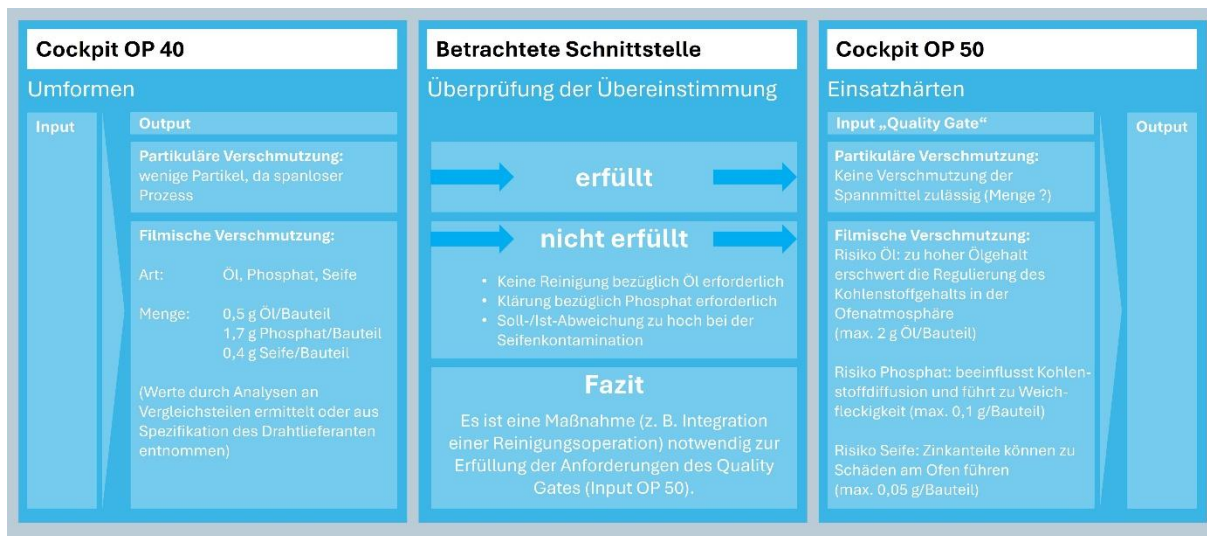


Abbildung 11: Betrachtung der Schnittstelle Umformen – Einsatzhärten

Frau F. identifiziert an dieser Schnittstelle ein Quality Gate aus der Sauberkeitsspezifikation der Operation Einsatzhärten. Da die Anforderungen des Einsatzhärtens weder durch Optimierung des Umformprozesses (z. B. phosphatfrei) noch durch eine Optimierung des Einsatzhärteprozesses erfüllt werden können, entscheidet sie sich für die Aufnahme eines zusätzlichen Reinigungsprozesses in die Prozesskette.

Die Schnittstelle zwischen den Operationen Einsatzhärten und Beschichten wird analog betrachtet. Zudem ist zu prüfen, ob die Verunreinigungen aus dem Umformprozess auch den Beschichtungsprozess beeinflussen.

Abschließend stellt Frau F. fest, dass für die betrachtete Prozesskette nicht mehrere Reinigungsprozesse, sondern nur ein Reinigungsprozess vor dem Einsatzhärten erforderlich ist.

5.1.2. Planung des Reinigungsprozesses

Gemeinsam mit dem Anlagenhersteller und dem Chemielieferanten plant Frau F. den Reinigungsprozess anhand folgender Schritte (diese Aufzählungen sind beispielhaft):

1. Auswahl des geeigneten Reinigungsprinzips
 - Reinigungsmedium (z. B. lösemittel- oder wässrigbasiert)
 - Reinigungsverfahren (z. B. Spritzen, Ultraschall)
 - Trocknung (z. B. Abblasen, Heißluft, Vakuum)
2. Auswahl des Reinigers
 - sauer/neutral/alkalisch
 - salzhaltig/salzfrei
 - organische Lösemittel (z. B. Kohlenwasserstoffe, modifizierte Alkohole)
3. Auswahl des Anlagenkonzepts
 - Durchlaufanlage
 - Kammeranlage
 - Umsetzanlage
 - Anzahl der Reinigungs- und Spülbäder
4. Auswahl der Medienaufbereitung
 - Filtration
 - Ölabscheider
 - Destillation.

Nach der Beratung mit dem Anlagenhersteller und dem Chemielieferanten fällt die Entscheidung für folgendes Anlagenkonzept:

- wässrige Umsetzanlage mit Spritzmechanik, Heißlufttrocknung,
- zwei Reinigungsbäder und drei Spülbäder,
- Vorreinigungsbad mit Ölabscheider, mildalkalische Chemie zur Entfernung von Öl,
- Hauptreinigungsbad mit Absetzbecken, hochalkalische, salzhaltige Chemie zur Entphosphatierung,
- drei Spülbäder mit Verdampfer und Kaskade, letztes Spülbad mit temporärem Korrosionsschutz,
- Filtration an allen fünf Bädern.

Weiterführende Erläuterungen zum Anlagenkonzept:

- Eine Zusammenlegung von Entölung und Entphosphatierung würde zu starker Schaumbildung (Verseifung) führen.
- Empfehlungen zu den Reinigerkonzentrationen gibt der Chemielieferant.
- Drei Spülbäder sind aufgrund des hohen Salzgehalts und pH-Werts erforderlich, da Verschleppung in den Härteofen zur Schädigung der Anlage und zur Verhinderung der Diffusion auf den Bauteilen führen kann.
- Das Absetzbecken dient der Abreinigung von Zinkphosphat.

(Praxistipp: Vorgehensweise und Details zur Planung eines Reinigungsprozesses finden sich auch in der FiT-Checkliste „Planung eines Reinigungsprozesses“[4].)

5.1.3. Prozessanalytik für den Reinigungsprozess vor dem Einsatzhärten

Herr S. ist als Qualitätsmanager verantwortlich für die Prozessstabilität des Gesamtprozesses. Beim Reinigungsprozess unterscheidet er zwei Überwachungsebenen:

- die Überwachung der Prozessbäder und
- die Überwachung der Bauteilsauberkeit.

Überwachung der Prozessbäder:

Die qualitätsbestimmenden Parameter beim Reinigungsprozess sind:

- Zustand des Reinigungsbades (Reinigerkonzentration, Verschmutzungsgrad),
- Zustand der Spülbäder (Verschmutzung, z.B. durch Verschleppung des Reinigers).

Die zu überwachenden Parameter der Prozessbäder legt Herr S. nach den Empfehlungen des Chemielieferanten und des Anlagenherstellers fest. Geprüft werden:

- Ölgehalt (über Säurespaltung) im Vorreinigungsbad,
- Reinigergehalt (Titration und Blasendrucktensiometrie) im Vorreinigungsbad,
- Leitfähigkeit im Hauptreinigungsbad und im letzten Spülbad.

Nach einer Verifizierungsphase von ca. drei Wochen mit täglicher Prüfung legt Herr S. auf Basis der ihm vorliegenden Daten ein geeignetes Prüfintervall fest.

Überwachung der Bauteilsauberkeit:

Zur Freigabe der Anlage überprüft Herr S. bei Neuansatz die Bauteilsauberkeit im Hinblick auf die im Cockpit definierten Grenzwerte. Die geeigneten Analysenmethoden stimmt er mit einem Labor ab. Dabei werden die XPS-Analyse zur Phosphatbestimmung und die TOF-SIMS-Methode zur Seifen- und Ölbestimmung festgelegt.

(Praxistipp: Eine Übersicht möglicher Methoden bietet die FiT Richtlinie „Filmische Verunreinigungen sicher beherrschen“[1] oder „VDA 19.1 – Prüfung der Technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile“[2].)

Zusätzlich verifiziert Herr S. die Prozessstabilität in Bezug auf die Bauteilsauberkeit, indem er von Neuansatz des Bades bis kurz vor Badverwurf Analysen an fünf Prüflösen durchführt.

Parallel dazu führt er einfache prozessbegleitende Prüfungen (Fluoreszenzmessung für Öl, Vanadat-Molybdat-Test/Tüpfeltest für Phosphat) durch.

Nach dieser Verifizierungsphase stellt Herr S. fest, dass sich die Rückstände von Öl, Seife und Reiniger im unkritischen Bereich befinden. Lediglich der Phosphatrückstand ist relativ hoch. Daher entscheidet er sich dafür, nur die Phosphatanteile am Bauteil prozessbegleitend zu überwachen, wobei er den Tüpfeltest als Methode und die eine definierte Prüfhäufigkeit festlegt. Weitere Maßnahmen sind nicht erforderlich.

Zur Re-Qualifizierung wird dieser Validierungsprozess einmal jährlich wiederholt.

5.2. Prozessoptimierung am Beispiel Zerspanung von Aluminium-Kurbelgehäusen

Herr M. ist verantwortlich für eine Reinigungsoperation im Anschluss an die Zerspanung von Aluminium-Kurbelgehäusen. Sauberkeitsanalysen zeigen seit Wochen wiederholt Grenzwertüberschreitungen bei Partikelgrößen. Da der Reinigungsprozess unverändert geblieben ist, schaut sich Herr M. die Partikelanalyse etwas genauer an, wie beispielhaft in Abbildung 13 dargestellt.

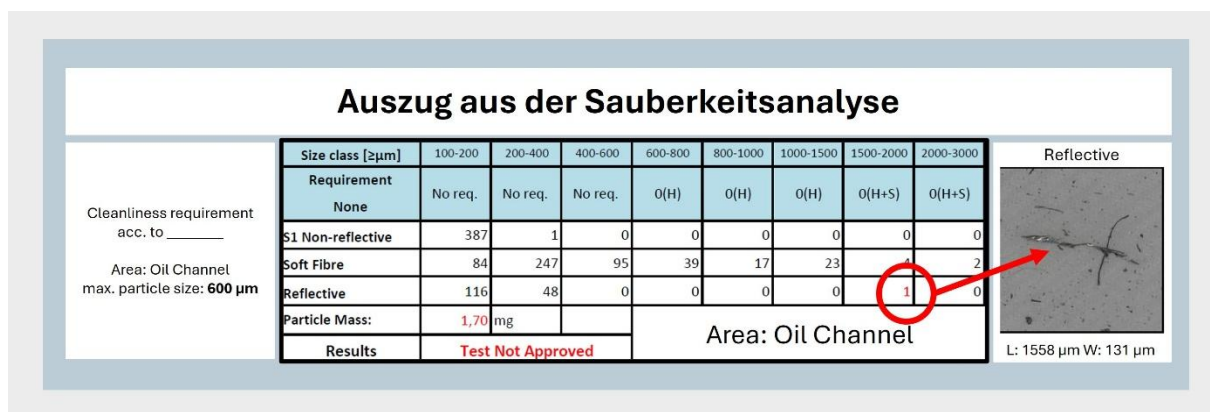


Abbildung 12: Ergebnis der Partikelanalyse (Quelle: LPW Reinigungssysteme GmbH)

Im Ölkanal sind Partikel mit einer Größe bis maximal 600 µm zugelassen. Deutlich erkennbar ist, dass in den Klassen 400-1500 µm keine Partikel gefunden wurden. Lediglich in der Klasse 1500-2000 µm wurde ein langer, dünner Partikel gefunden. Dabei könnte es sich um einen Grat oder einen Klemmspan handeln.

Im nächsten Schritt entscheidet sich Herr M. für eine Mikroskopanalyse des Bauteils. Finden sich Grate, gleicht er deren Form mit dem bei der Sauberkeitsanalyse gefundenen Partikel ab. Hierzu werden alle bearbeiteten Flächen des Bauteils betrachtet, wie Abbildung 14 zeigt.

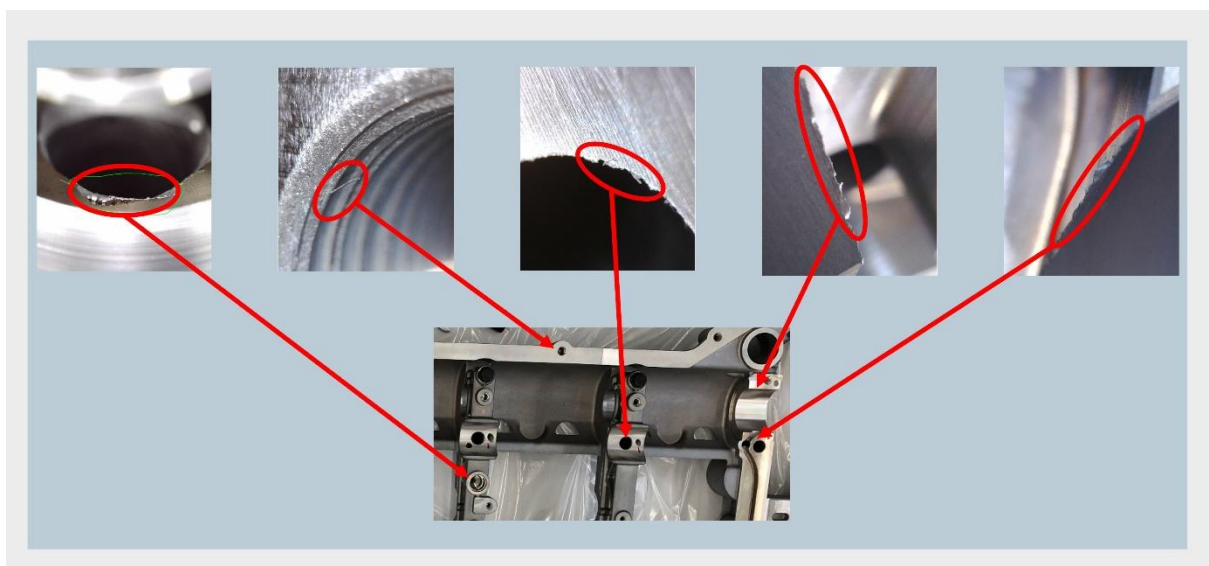


Abbildung 13: Mikroskopanalyse eines Bauteils im Bereich der bearbeiteten Flächen
(Quelle: LPW Reinigungssysteme GmbH)

Herr M. stellt fest, dass

- an den bearbeiteten Stellen eine starke Gratbildung vorliegt und
- die Form und Größe der Grate jenen entspricht, die für die Nichteinhaltung der Spezifikation verantwortlich sind.

Durch die Auswertung erkennt er, dass nicht der Reinigungsprozess die Ursache für die Grenzwertüberschreitung ist. Das Problem liegt darin, dass das Bauteil selbst nicht mehr ausreichend reinigungsfähig ist.

Er informiert deshalb den Verantwortlichen des Vorprozesses (Zerspanung). Dort müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Gratbildung zu verhindern. In diesem Fall bedeutet das: Der Vorprozess muss optimiert werden.

6. Zusammenfassung

Diese Richtlinie zeigt praxisnah, wie technische Sauberkeit in Produktionsprozessen geplant, umgesetzt und optimiert werden kann. Sie behandelt sowohl partikuläre als auch filmische Verunreinigungen und erläutert die Rolle von Reinigungsprozessen, Sauberkeitsspezifikationen und die Überprüfbarkeit von Bauteilen.

Im Fokus steht die klare Definition der gesamten Prozesskette: Jeder Teilprozess hat eigene Anforderungen an die Sauberkeit und wird als eigenständiger Prozess betrachtet. An den Quality Gates müssen die vereinbarten Spezifikationen eingehalten werden, wobei die Reinigbarkeit der Bauteile eine Grundvoraussetzung ist.

Die Richtlinie verfolgt eine strukturierte Vorgehensweise und liefert allgemeine Prinzipien sowie praxisnahe Beispiele, die sich sowohl auf die gesamte Prozesskette als auch auf einzelne Teilprozesse anwenden lassen. Statt feste Grenzwerte vorzugeben, werden Methoden und Strukturen vorgestellt, die mit spezifischem Prozesswissen kombiniert werden können.

7. Weiterführende Literatur:

- [1] „Filmische Verunreinigungen beherrschen“, FiT Fachverband industrielle Teilereinigung e. V., 2021
- [2] VDA 19.1 „Prüfung der Technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile“, Verband der Automobilindustrie e. V., 2015
- [3] DIN 4878-1: Bauteilreinigung und technische Sauberkeit – Teil 1: Verfahren für die Herleitung und Erstellung einer Sauberkeitsspezifikation (in Vorbereitung, ET 2026)
- [4] „Checkliste zur Planung eines Reinigungsprozesses“, FiT Fachverband industrielle Teilereinigung e. V., Online: <https://www.fit-online.org/publikationen/checklisten>
- [5] DIN 55350: Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik – Qualitätsmanagement
- [6] VDA 19.2 „Technische Sauberkeit in der Montage“, Verband der Automobilindustrie e. V., 2010

Herausgeber:

Fachausschuss Richtlinienwerk Prozesslösungen

Geleitet von:

- Ulrike Kunz, SurTec Deutschland GmbH

Wir danken allen beteiligten Autoren und Unternehmen.

Unter Mitwirkung von:

- Stefan Büttner, SITA Messtechnik GmbH
- Birgit Fruggel, Schaeffler Technologies AG & Co. KG
- Gerhard Koblenzer, LPW Reinigungssysteme GmbH
- Jürgen Krappmann, Robert Bosch GmbH
- Ulrike Kunz, SurTec Deutschland GmbH
- Dr. Karsten Lamann, Tascon GmbH
- Prof. Dr. Katja Mannschreck, Hochschule Heilbronn
- Wolfgang Schmitt, SITA Messtechnik GmbH

FiT Fachverband industrielle Teilereinigung e. V.

Hauptstraße 7
72639 Neuffen | Deutschland
T +49 7025 8434 – 100
www.fit-online.org
info@fit-online.org

Version 1.0 vom 07.10.2025

Über FiT Fachverband industrielle Teilereinigung e. V.

Der „Fachverband industrielle Teilereinigung e. V.“ (FiT) fungiert als Schnittstelle zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung industrieller Reinigungstechnik. Der FiT zielt darauf, neue Erkenntnisse zu generieren, vorhandenes Wissen zusammenzutragen und zu bündeln sowie den Austausch innerhalb der Branche und nach außen zu fördern.