

Auslegung von Bauteilreinigungsanlagen mit Hilfe eines Fachinformationssystems

Von der Fakultät Maschinenbau
der Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Ing. Udo Kloke
aus Dortmund

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Willibald Kreis

Mündliche Prüfung: 11.07.2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Stand der Technik	4
2.1	Entwicklungstendenzen in der Reinigungstechnik	4
2.2	Ansätze der deutschen und europäischen Normung	5
2.3	Ansätze in der Literatur	9
2.4	Internetbasierte Fachinformationssysteme	13
3	Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehen	15
3.1	Problemstellung	15
3.1.1	Phase 1: Planen und Klären der Aufgabe	17
3.1.2	Phase 2: Konzipieren	18
3.1.3	Phase 3: Entwerfen	23
3.1.4	Phase 4: Ausarbeiten.....	23
3.2	Zielsetzung und Vorgehen	23
3.2.1	Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen.....	24
3.2.2	Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen".....	24
3.2.3	Vorbewertungssystem für Reinigungsverfahren und -mittel	24
3.2.4	Wissensbasis als Hilfe bei der Feinbewertung	25
3.2.5	Anbieterdatenbank zur gezielten Kontaktvermittlung.....	25
4	Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen	27
4.1	Ermittlung der Anforderungskategorien	27
4.2	Klassifizierung der Anforderungskategorien	29
4.2.1	Bauteilabmessungen.....	29
4.2.2	Bauteilgewicht	30
4.2.3	Bauteilwerkstoff	31
4.2.4	Beschichtung des Bauteils	31
4.2.5	Spezialfälle	32
4.2.6	Schmutzmenge.....	36
4.2.7	Zusammensetzung der Verschmutzung.....	37
4.2.8	Reinheitsanforderungen.....	37
4.2.9	Maximale Investitionskosten der Anlage	42
4.2.10	Durchsatz der Anlage.....	42
5	Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen"	43
5.1	Vorgehen.....	43
5.2	Ordnungsschema der Reinigungsverfahren	44
5.2.1	Gliederung der Reinigungsverfahren.....	44
5.2.2	Aufbau der Ordnungsnummer	47
5.2.3	Verfahrensbeschreibungen.....	47
5.3	Ordnungsschema der Reinigungsflüssigkeiten.....	91
5.3.1	Gliederung der Reinigergruppen.....	91
5.3.2	Ordnungsnummer der Reinigungsflüssigkeiten	92
5.3.3	Beschreibende Seiten der Reinigergruppen	93

6	Vorbewertungssystem für Reinigungsverfahren und -mittel.....	102
6.1	Fragebogenkategorien und Leitregeln für die Verfahrenswahl	102
6.1.1	Bauteilabmessung und -gewicht	103
6.1.2	Bauteilwerkstoff	104
6.1.3	Beschichtung des Bauteils.....	105
6.1.4	Spezialfälle	106
6.1.5	Schmutzmenge.....	107
6.1.6	Zusammensetzung der Verschmutzung.....	108
6.1.7	Reinheitsanforderungen.....	109
6.1.8	Anlagendaten.....	110
6.2	Bewertungsverfahren.....	110
6.3	Ergebnisdarstellung.....	111
6.4	Fallbeispiel.....	113
7	Wissensbasis als Hilfe bei der Feinbewertung.....	117
7.1	Informationsseiten zu den Grundlagen der Bauteilreinigung	117
7.2	Informationsseiten zu den Reinigungsverfahren.....	118
7.2.1	Informationsseite: Physikalischer Hintergrund	118
7.2.2	Informationsseite: Haupteinsatzgebiete	119
7.2.3	Informationsseite: Umwelt/Arbeitsschutz	120
7.2.4	Informationsseite: Anlagen und Kosten	120
7.2.5	Informationsseite: Referenzen	121
7.2.6	Informationsseite: Hersteller	122
7.3	Informationsseiten zu den Reinigungsmitteln.....	122
7.4	Berechnungsverfahren und Auslegungshilfen.....	124
7.4.1	Auslegungshilfe für das Reinigen durch Schleudern.....	124
7.4.2	Auslegungshilfe für mehrstufige Spülprozesse mit Spülwasserkaskade.....	134
7.4.3	Auslegungshilfe für die Bauteiltrocknung durch Verdampfung	136
8	Anbieterdatenbank zur gezielten Kontaktvermittlung.....	138
8.1	Geführte Kontaktvermittlung	138
8.2	Gezielte Suche in der Anbieterdatenbank	140
8.3	Eintrag von Firmenprofilen	140
8.4	Informationstechnische Umsetzung	143
9	Reinigungsgerechte Bauteilgestaltung.....	147
9.1	Konstruktive Leitregeln	147
9.2	Leitregeln zur Werkstoffwahl.....	153
10	Zusammenfassung.....	154
	Literaturverzeichnis.....	156
	Formelzeichenverzeichnis	172

1 Einleitung

Die Reinigung stellt eines der am häufigsten eingesetzten Verfahren in der industriellen Praxis dar. In nahezu jedem produzierenden Betrieb müssen Vor-, Zwischen- oder Endreinigungsschritte eingeplant werden, um die Qualität der gefertigten Teile sicherzustellen. Die Optimierung der dabei realisierten Reinigungsprozesse gewinnt zunehmend an Bedeutung. Wo früher lediglich das Reinigungsergebnis bei möglichst geringen Kosten von Interesse war, rückt heute eine ganzheitliche Betrachtung in den Vordergrund. Zusätzliche Forderungen, die an den Reinigungsprozess gestellt werden, sind u. a. ein geringer Energie- und Ressourcenverbrauch, hohe Sicherheitsstandards, geringe Umweltbelastung, kurze Reinigungszeiten sowie eine reibungslose Einbindung in automatisierte Produktionsprozesse. Die Bauteilreinigung wird allgemein nicht mehr nur als ein notwendiges Übel angesehen, sondern vielmehr als ein Prozessschritt, der ebenso wie jeder andere Fertigungsschritt zur Qualität des Endproduktes beiträgt.

Im Zuge der gesteigerten Aufmerksamkeit, die der industriellen Bauteilreinigung in den letzten Jahren entgegengebracht wird, wurde eine Vielzahl neuer Reinigungsverfahren und alternativer Reinigungsmittel sowie Möglichkeiten zur Prozessoptimierung entwickelt. Die Umsetzung dieser in Forschungsinstituten und Einzelunternehmen gewonnenen Erkenntnisse in die industrielle Praxis vollzieht sich aufgrund des oftmals noch ungenügenden Informationsflusses jedoch nur sehr langsam. Im deutschsprachigen Raum ist nur wenig, oftmals bereits veraltete Literatur zu finden. Die Recherche in internationalen Quellen ist dagegen relativ aufwändig. Die deutsche und europäische Normung beschreibt lediglich ausgewählte, bereits seit vielen Jahren eingesetzte Reinigungsverfahren und gibt nur wenig Hilfestellung bei der Prozessauslegung. Über das Internet sind zwar auch aktuelle Forschungsergebnisse zugänglich, jedoch ist das Informationsangebot unübersichtlich, unvollständig und im ständigen Wandel begriffen.

Konstrukteure in kleinen und mittelständischen Unternehmen verfügen oftmals weder über das fachspezifische Know-How, das zur Auslegung geeigneter Reinigungsprozesse erforderlich ist, noch über die Kapazitäten, dieses Wissen auf dem zeitaufwändigen Wege der Recherche zusammenzutragen. Sie greifen daher meist auf altbewährte, jedoch nicht zwangsläufig optimale Lösungen zurück. Auch wenn das Fachwissen eines externen Experten genutzt oder eine schlüsselfertige Reinigungsanlage zugekauft werden soll, muss zunächst ein geeignetes Wirkprinzip der Reinigung gefunden werden, um Kontakt zu einem entsprechenden Ansprechpartner aufnehmen zu können. Der effizienten Vermittlung von Fachwissen aus dem Gebiet der Bauteilreinigung bis in jeden Einzelbetrieb kommt daher eine große wirtschaftliche Bedeutung zu.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein internetbasiertes Fachinformationssystem für die industrielle Bauteilreinigung geschaffen, welches Hilfestellung bei der Planung und Konzeption von Bauteilreinigungsanlagen geben soll. Das Fachwissen wird dabei nicht nur in übersichtlicher Form bereitgestellt, sondern auch gezielt zur Unterstützung der einzelnen Arbeitsschritte eines konstruktionsmethodischen Vorgehens verwendet. Konstrukteure, die über ein nur geringes Fachwissen aus dem Bereich der industriellen Bauteilreinigung verfügen, werden Schritt für Schritt an die Problematik herangeführt und in die Lage versetzt, ihre Reinigungsaufgabe zu lösen oder geeignete Fremdanbieter zu ermitteln.

2 Stand der Technik

2.1 Entwicklungstendenzen in der Reinigungstechnik

Aufgrund des steigenden Druckes durch gesetzliche Restriktionen und des gezielten Einsatzes von Fördermitteln wurden, vornehmlich in den USA, neuartige Reinigungsverfahren und -mittel entwickelt und teilweise bereits zur Praxisreife gebracht.

Als Ersatzverfahren für die FCKW-Reinigung von hochwertigen Komponenten, z. B. bei der Instandhaltung von Militärflugzeugen, wurde die Reinigung mit flüssigem Kohlendioxid /cli96/, /dar98/, /jac99a/, /NN01f/ oder überkritischem Kohlendioxid /ago95/, /dah98/, /dar96/, /NN01e/, /pir94/, /spa95/ entwickelt.

Das CO₂-Pellet-Strahlen wurde als umweltfreundliches Ersatzverfahren für das Entlacken durch Sandstrahlen oder Schleifen entwickelt, bietet jedoch auch darüber hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten /cat00a/, /lin98/, /mck97/, /NN99b/, /rot99/, /uhl98/, /vis98a/, /vis98b/.

Mit Laserstrahlen ist das gezielte Entfernen von Schichten definierter Dicke und eine gezielte Reinigung von Problemstellen möglich /büc00/, /eng95/, /eng98/, /fit01/, /jet99/, /lot99/, /man97/, /mil99/, /NN97a/, /wal94/.

Als wirtschaftlichere Alternative zur Reinigung in Schwelkammeröfen wurde die Wirbelbettreinigung entwickelt, bei der Verschmutzungen und Beschichtungen in einem fluidisierten Quarzsandbett bei hoher Temperatur abgescheuert und verbrannt werden /mol97/.

Hochwertige Komponenten, z. B. für die Reinraumtechnik, können ohne Einsatz von Reinigungschemikalien mit dem CO₂-Schnee-Strahlen gereinigt werden /cat00a/, /hil94/, /jac99b/, /NN01d/, /NN99a/, /NN99c/, /wil98/.

Mit Hilfe der noch im Versuchsstadium befindlichen Reinigung mit UV-Licht in einer Ozon- bzw. H₂O₂-reichen Umgebung können organische Verschmutzungen restlos zersetzt und in umweltneutrale Stoffe, wie H₂O oder CO₂, überführt werden /NN01b/, /NN01d/.

Die Reinigung in Niederdruckplasmen oder mittels Koronaentladungen unter Atmosphärendruck sind kostengünstige und umweltfreundliche Verfahren zur Feinstreinigung bei gleichzeitiger Aktivierung der behandelten Oberflächen /dil98/, /grü94a/, /grü94b/, /jel99/, /kor95/, /mat96/, /sch93/, /sti97/, /voh99/.

Ein neuartiges thermisches Verfahren zur schnellen und effektiven Entlackung von großflächigen Bauteilen stellt die erst vor wenigen Jahren entwickelte Blitzlampenreinigung dar, welche oftmals in Kombination mit dem CO₂-Pellet-Strahlen eingesetzt wird /NN00a/, /NN01d/, /NN97b/.

Zur chemikalienfreien Grobreinigung von stark verölten, einfach geformten Bauteilen konnte eine Eigenschwingungsanregung in Kombination mit einer Absaugung an den Schwingungsknoten erfolgreich eingesetzt werden /NN02b/.

Durch eine Verdampfung im Vakuum können Öle und Kühlschmierstoffe auch von Bauteilen mit komplizierter Geometrie zufriedenstellend entfernt werden /läm95/.

Bei der biologischen Reinigung werden Mikroorganismen in einem wässrigen Reinigungsprozess eingesetzt, um organische Verschmutzungen zu Kohlendioxid und Wasser abzubauen und somit auf umweltfreundliche Weise die Mengen zu entsorgender Abwässer zu verringern /göp96/, /kun92/, /mcn99/, /mof98/.

In vielen Praxisbeispielen ist zudem dokumentiert, dass auch althergebrachte Reinigungsprozesse bei genauer Betrachtung deutlich verbessert werden können. Dabei ist häufig ein Wechsel des Reinigungsprinzips erforderlich, z. B. Ersatz einer Tauchreinigung mit Kohlenwasserstoffen durch eine wässrige Spritzreinigung /nou94/.

Im Bereich der Reinigungsflüssigkeiten ist eine Abkehr von den klassischen Lösemitteln festzustellen. Nach dem Anfang der neunziger Jahre für Deutschland ausgesprochenen Verbot von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) für Reinigungszwecke wurde zunächst zu den Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) als naheliegende Alternative gegriffen. Für die Bauteilreinigung sind in Deutschland derzeit noch die drei krebserregenden Stoffe Perchlorethylen (PER), Trichlorethylen (TRI) und Dichlormethan zugelassen. Wegen der restriktiven Auflagen beim Umgang mit CKW wird jedoch auch für diese Stoffe zunehmend Ersatz gesucht. Erfolgversprechende Ansätze hierzu sind der Einsatz von veresterten Pflanzenölen als umweltfreundlichere Lösemittelalternative /NN01p/, /NN01q/, /sch96a/, /sch98b/ sowie der Einsatz optimierter wässriger Reinigungsmittel für Aufgabenstellungen, die bislang nur durch Verwendung von Lösemitteln zufriedenstellend gelöst werden konnten.

Obwohl gerade in den letzten Jahren eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verbesserung der industriellen Bauteilreinigung aufgedeckt wurde, besteht für kleine und mittelständische Unternehmen zur Zeit oftmals noch ein erhebliches Problem darin, das für eine Optimierung der in ihrem Betrieb eingesetzten Reinigungsprozesse erforderliche Fachwissen zu erlangen. Im deutschsprachigen Raum ist nur wenig, oftmals bereits veraltete Literatur zu finden. Die Recherche in internationalen Quellen ist aufwändig. In den meisten Fällen ist es für den Anwender daher sinnvoll, auf das Fachwissen eines Spezialisten zurückzugreifen, wobei jedoch das Problem besteht, einen ersten Kontakt herzustellen, insbesondere dann, wenn nicht von vornherein klar ist, welches Reinigungsprinzip eingesetzt werden soll. Die zum Teil erst vor wenigen Jahren entwickelten Alternativen werden aufgrund mangelnder Informationen meist nicht berücksichtigt. Vielmehr wird auf altbewährte, aber nicht zwangsläufig optimale Lösungen zurückgegriffen.

2.2 Ansätze der deutschen und europäischen Normung

Die Einordnung der Reinigungsverfahren in die Fertigungsverfahren kann entsprechend dem Entwurf zur DIN 8592 erfolgen. In diesem Normentwurf wird eine hierarchische Einteilung der Reinigungsverfahren nach dem Wirkprinzip vorgeschlagen (siehe **Bild 2.1**).

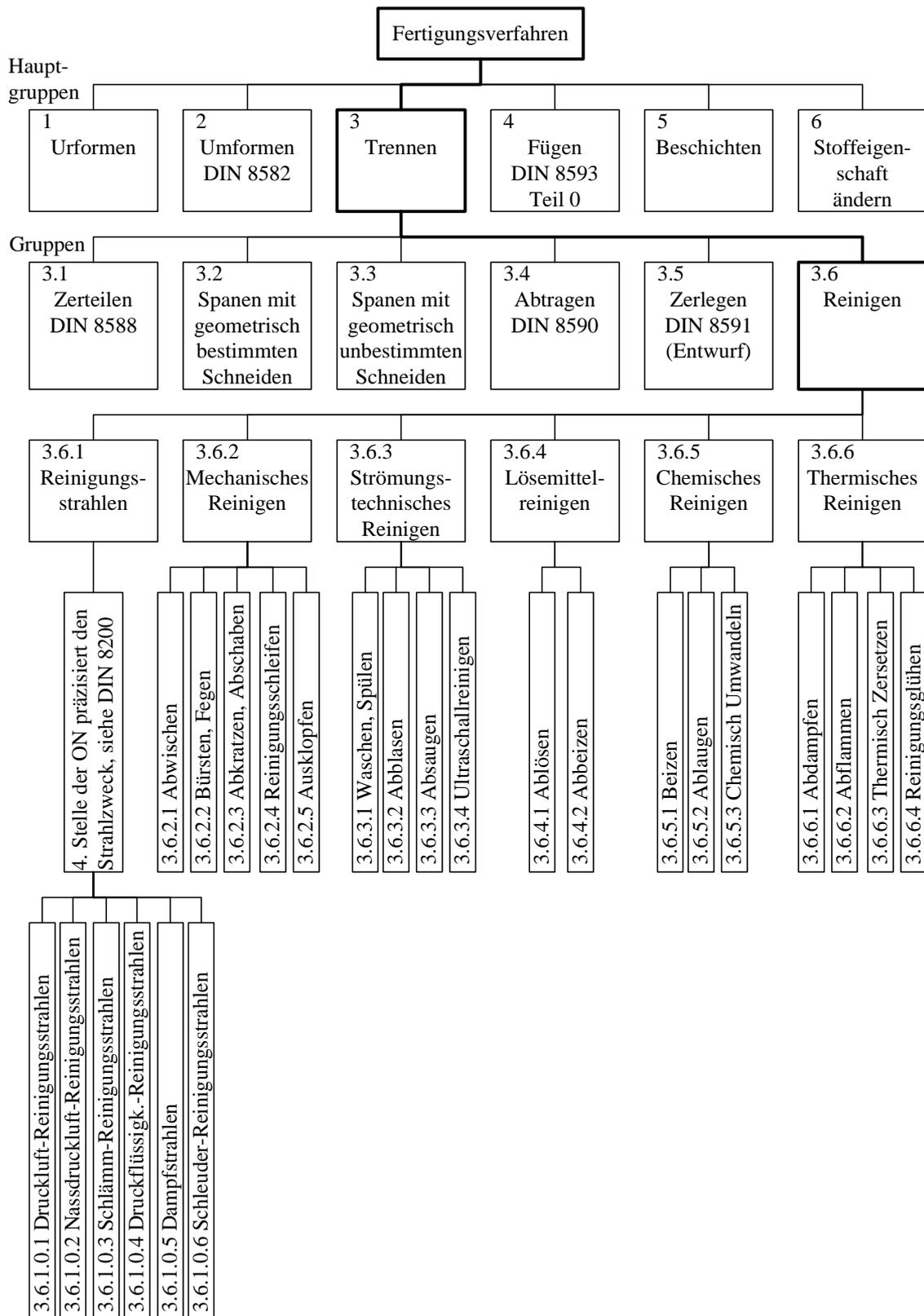


Bild 2.1 Einordnung der Reinigungsverfahren nach DIN 8592 (Entwurf)

Die Hierarchieebenen werden bei der Benennung der Verfahren durch eine mehrstellige Ordnungsnummer repräsentiert. Das "Reinigen" wird zunächst als Untergruppe des Fertigungsverfahrens "Trennen" in das Ordnungsschema nach DIN 8580 eingeordnet und erhält die Ordnungsnummer 3.6. Die nächste Hierarchiestufe des Ordnungsschemas gibt das physikalische Wirkprinzip des Reinigungsverfahrens an. Da bei den Strahlverfahren eine Kombination der Wirkmechanismen "mechanisch" und "strömungstechnisch" vorliegt, erhielten diese eine eigene Untergrup-

pe. Die vierte Stelle der Ordnungsnummer liefert eine weitere Unterteilung der Verfahren der einzelnen Gruppen. Bei den Strahlverfahren präzisiert die vierte Stelle der Ordnungsnummer gemäß DIN 8200 den Strahlzweck, und es wird eine fünfte Stelle zur weiteren Unterteilung der Verfahren eingeführt. Da nach dem Entwurf zur DIN 8592 jedoch eine Einordnung nach dem Wirkprinzip und nicht nach dem Reinigungsziel erfolgen soll, wird vorgeschlagen, bei der Verfahrenseinordnung eine "0" in der vierten Stelle der Ordnungsnummer zu führen. Zur Klassifizierung des Reinigungszweckes kann eine weitere Kennzahl, durch einen Bindestrich von der Ordnungsnummer getrennt, angehängt werden. **Bild 2.2** zeigt eine Übersicht dieser Kennzahlen.

<i>Nr.</i>	<i>Benennung</i>	<i>Nr.</i>	<i>Benennung</i>
1	Putzen	6	Entstauben
2	Entzundern	7	Entrußen
3	Entrostern	8	Sterilisieren
4	Entschichten	9	Desinfizieren
5	Entfetten	10	Dekontaminieren

Bild 2.2 Kennzahlen zur Klassifizierung des Reinigungszwecks nach DIN 8592 (Entwurf)

Der Entwurf zur DIN 8592 berücksichtigt weder Verfahren, bei denen mehrere physikalische Wirkprinzipien kombiniert werden, noch können die in jüngster Zeit entwickelten Sonderverfahren, wie z. B. die Reinigung durch Mikroorganismen oder die Vibrationsreinigung, in das Schema eingeordnet werden. Die vorgesehene Einteilung ist zudem nicht detailliert genug, einzelne Verfahren gegeneinander abzugrenzen. So fallen z. B. unter das Ablösen mit der Ordnungszahl 3.6.4.1 die Verfahren: Dampffetten, Tauchreinigung, Wischreinigung, Bürstreinigung, Trommelreinigung, Spritzreinigung, Flutreinigung, Abkochen und Ultraschallreinigung mit Lösemitteln. Die Tatsache, dass der erste Entwurf zur DIN 8592 aus dem Jahre 1985 stammt und bis heute nicht in eine gültige Norm übergegangen ist, mag ein Hinweis darauf sein, dass die angesprochenen Probleme nicht zufriedenstellend gelöst werden konnten.

Normen, die klare Handlungsanleitungen für die Durchführung der Reinigung bieten, sind nur zu einigen wenigen Verfahren vorhanden. Lediglich die schon seit längerer Zeit eingesetzten Verfahren, wie das Hochdruckwasserstrahlen (DIN EN 1829), die Reinigung mit alkalischen Reinigern (DIN 65079), die Lösemittelreinigung (DIN 65078, LN 29740), die Strahlreinigung (DIN 65468), die elektrolytische Reinigung (DIN 65473) und das Flammstrahlen (DIN 32539) sind genormt. Die in den letzten Jahren entwickelten Reinigungsverfahren sind bislang noch nicht in die deutsche und europäische Normung eingegangen.

Obwohl mittlerweile vielfältige Test- und Analyseverfahren für die Oberflächenreinheit existieren /gal94/, /haa98a/, /haa98b/, sind die für bestimmte Nachfolgebehandlungen zu fordernden Reinheitsgrade lediglich in Einzelfällen genormt. DIN 55928 bzw. ISO 8501 - 8504 enthalten beispielsweise fotografische Vergleichsmuster für Oberflächenvorbereitungsgrade vor dem Aufbringen von Beschichtungen auf Stahlbauten. In einzelnen Normen für Oberflächenbehandlungsverfahren sind zudem verschiedene Testverfahren, wie beispielsweise der Wasserablauftest zur Prüfung einer hinreichenden Entfernung von Fetten, empfohlen oder vorgeschrieben. Derartige Ansätze können jedoch nicht ohne weiteres auf andere Anwendungsfälle übertragen werden. Für den Bereich des allgemeinen Maschinenbaus existiert bislang kein Reinheitsstandard, mit dem eine Klassifizierung der Reinheit eines Bauteils möglich wäre.

Im Bereich der Reinigungsmaschinen sollen auf europäischer Ebene zukünftig vornehmlich die Sicherheitsstandards für Anlagen genormt werden, ohne dabei auf Einsatzgrenzen und Anwendungsfälle der beschriebenen Anlagen einzugehen (Entwurf zur DIN EN 12921).

Einen Überblick über die wichtigsten deutschen und europäischen Normen für den Bereich der Bauteilreinigung gibt die tabellarische Übersicht in **Bild 2.3**.

Norm	Titel	Inhalt
DIN EN 1829 Entwurf (1995)	Hochdruckreiniger, Hochdruckwasserstrahlmaschinen, Sicherheitstechnische Anforderungen	Enthält Begriffsdefinitionen und Sicherheitsanforderungen für Hochdruckreinigungsanlagen.
VDI/VDE 2420 (1980-1981)	Metalloberflächenbehandlung in der Feinwerktechnik: Vorbehandlung durch Reinigen und Entfetten	Gibt eine unvollständige Übersicht über die gebräuchlichsten Reinigungsverfahren und Lösemittel.
DIN 8200 (1982)	Strahlverfahrenstechnik: Begriffe, Einordnung der Strahlverfahren	Organisiert die Benennung und Einordnung der Strahlverfahren.
ISO 8501-8504 (1988 – 2002)	Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen	Beschreibt Verfahren für die Korrosionsschutzvorbereitung von Stahlbauten und gibt Oberflächenvorbereitungsgrade anhand fotografischer Vergleichsmuster vor.
DIN 8592 Entwurf (2002)	Fertigungsverfahren Reinigen: Einordnung, Unterteilung, Begriffe	Ordnet die Reinigung dem Fertigungsverfahren "Trennen" laut DIN 8580 zu und legt weitere Untergruppen fest.
DIN EN 12921 Entwurf (1997)	Maschinen zur Oberflächenreinigung und -vorbehandlung von industriellen Produkten ...	Enthält Begriffsdefinitionen und Sicherheitsanforderungen für Reinigungsanlagen, die mit wässrigen, brennbaren und halogenierten Reinigern arbeiten.
LN 29740 (1966)	Fertigungsrichtlinien für das Entfetten von Metallteilen in dampfförmigem Perchlourethylen	Gibt einen groben Überblick über das Dampfentfetten und die einzuhaltenden Verfahrensparameter.
DIN 32539 (1998)	Flammstrahlen von Stahl- und Betonoberflächen	Enthält eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens, der einzusetzenden Geräte und des Arbeitsablaufes.
DIN 55928 (1991-1994)	Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge	Gibt Oberflächenvorbereitungsgrade für den Korrosionsschutz von Stahlbauten anhand fotografischer Vergleichsmuster vor.
DIN 58747 (1982 – 1983)	Optikfertigung: Ultraschallreinigungsanlagen, Flächenmaße für Reinigungsgestelle und Wannen	Legt die Wannengrößen und Maße von Reinigungsgestellen für die Ultraschallreinigung von Optikkomponenten fest.
DIN 65078 (1988)	Luft- und Raumfahrt: Reinigen mit organischen Lösemitteln	Gibt einen groben Überblick über den Reinigungsablauf und dabei zu beachtende Gesetze und Vorschriften.
DIN 65079 (1987)	Luft- und Raumfahrt: Reinigen von Metalloberflächen alkalisch	Gibt einen groben Überblick über die Arbeitsabläufe bei der alkalischen Reinigung.
DIN 65468 (1991)	Luft und Raumfahrt: Strahlen abtragend, reinigend	Gibt einen groben Überblick über die einsetzbaren Strahlverfahren und die Arbeitsabläufe.
DIN 65473 (1991)	Luft und Raumfahrt: Elektrolytisches Entfetten und Reinigen	Gibt einen Überblick über die Arbeitsabläufe und Verfahrensparameter bei der elektrolytischen Reinigung.

Bild 2.3 Übersicht über Normen für den Bereich der Bauteilreinigung (Stand Februar 2003)

Insgesamt muss festgehalten werden, dass die deutsche und europäische Normung zwar ausgewählte bewährte Reinigungsverfahren ausführlich beschreibt, jedoch bei der Wahl eines geeigneten Reinigungsverfahrens für einen gegebenen Anwendungsfall sowie zur optimalen Auslegung von Reinigungsprozessen nur wenig Hilfestellung gibt.

2.3 Ansätze in der Literatur

Im deutschsprachigen Raum sind nur wenige Quellen zu finden, die den Anwender bei der problemspezifischen Auslegung von Reinigungsprozessen und -anlagen unterstützen.

In dem 1969 von *R. Weiner* herausgegebenen Buch "Metall-Entfettung und –Reinigung" /wei69/ werden die zum damaligen Zeitpunkt am häufigsten eingesetzten Reinigungsverfahren und -mittel sowie die erforderlichen Anlagen und Zubehörteile beschrieben. Das Buch gibt zudem eine kurze Übersicht über die Anwendungsgebiete der Einzelverfahren, die Nachbehandlung gereinigter Bauteile, den Arbeitsschutz beim Umgang mit aggressiven Reinigern sowie die wichtigsten Aufbereitungsverfahren für gebrauchte Reinigungsmittel. Die in Abschnitt 2.1 dieser Arbeit angesprochenen, zum Teil erst in jüngeren Jahren entwickelten Reinigungsverfahren und alternativen Lösemittel finden hingegen noch keine Berücksichtigung.

Im Zuge der seit Ende der achtziger Jahre immer strenger werdenden Umweltgesetzgebung erschienen Veröffentlichungen, die den Ersatz der ozonschichtschädigenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) durch Chlorkohlenwasserstoffe (CKW), nicht halogenierte Kohlenwasserstoffe (NHKW) oder wässrige Reiniger untersuchten. Beispiele hierfür sind das 1990 von *R. Freise* herausgegebene Buch "CKW, FCKW und Lösungsmittel - Optimierter Einsatz und Ersatz in der betrieblichen Praxis" /frei90/, das 1991 von *D. Minkwitz* veröffentlichte Buch "Ersatzstoffe für Halogenkohlenwasserstoffe bei der Entfettung und Reinigung in industriellen Prozessen" /min91/ und das 1996 von *B. Haase* verfasste Buch "Bauteilreinigung - Alternativen zum Einsatz von Halogenkohlenwasserstoffen" /haa96/. *K. Hertlein* und weitere Mitautoren trugen in dem 1995 erschienen Buch "Reinigung mit Kohlenwasserstoffen und Wasser: Praxisbewährte Verfahren für die Metall-, Kunststoff-, Elektronik- und Textilbranche und weitere Anwender" /her95/ sowie dem 2000 veröffentlichten Buch "Reinigen mit Kohlenwasserstoff-Lösemitteln und Wasser im metallbearbeitenden Gewerbe, im Druck- und Elektronikbereich" /her00/ Fallbeispiele für den erfolgreichen Ersatz halogenerter Kohlenwasserstoffe durch umweltfreundlichere Reiniger zusammen.

Ein 1998 veröffentlichter Abschlußbericht eines BMBF-Forschungsprojektes mit dem Titel "Ganzheitliche Bilanzierung/Bewertung von Reinigungs-/Vorbehandlungstechnologien in der Oberflächenbehandlung" /NN98a/ dokumentiert den Versuch einer Bewertung der Teilereinigung mit CKW-Anlagen, NHKW-Anlagen und wässrigen Anlagen anhand einer Ökobilanz.

Das 1999 von *T. W. Jelinek* herausgegebene Buch "Reinigen und Entfetten in der Metallindustrie" /jel99/ macht es sich zum Anliegen, nicht nur einen Überblick über die derzeit eingesetzten Reinigungsverfahren und -mittel zu geben, sondern auch Hilfestellung zur Gestaltung von Reinigungsanlagen und zur Einbindung des Reinigungsschrittes in den Gesamtprozess zu liefern. Die Bereiche der wässrigen Reinigung und der Reinigung mit nichthalogenierten Lösemitteln werden ausführlich dargestellt und auch hinsichtlich der erforderlichen Anlagentechnik betrachtet. Ausgewählte Sonderverfahren, wie z. B. die Plasmareinigung oder die elektrolytische Reinigung, werden ebenfalls angesprochen. Die mechanischen Reinigungsverfahren, die thermischen Reinigungsverfahren, die Strahlverfahren sowie die meisten der neu entwickelten Sonderverfahren bleiben jedoch unberücksichtigt.

Spülprozesse sind hinsichtlich ihrer Wirkungsweise und Einflußparameter deutlich einfacher zu überschauen als Reinigungsprozesse. Aus diesem Grund können sie einer Berechnung zugänglich gemacht werden. *L. Winkler* /win94/, *J. Hasler* /has96/ und *J. Unruh* /unr96/ beschreiben in voneinander unabhängigen Zeitschriftenartikeln ein auf Stoffbilanzen basierendes Vorgehen.

Dabei steht die Frage nach der Menge des erforderlichen Spülwassers in Abhängigkeit von der Anzahl der Spülbecken und des zu erzielenden Spülkriteriums im Mittelpunkt der Überlegungen.

Forschungs- und Anwenderberichte aus dem Bereich der industriellen Bauteilreinigung können in der Online-Artikeldatenbank des vom *Vieweg Verlag* herausgegebenen Journals für Oberflächentechnik abgerufen werden /NN01g/. In dieser nach unterschiedlichen Suchkriterien recherchierbaren Datenbank sind sämtliche in den vergangenen fünf Jahren erschienenen Artikel einsehbar. Eine weitere derartige Quelle ist die im *Carl Hanser Verlag* erscheinende Zeitschrift "Metalloberfläche". Auch zu einigen der neu entwickelten Reinigungsverfahren sind in diesen beiden Zeitschriften Verfahrensbeschreibungen und Einsatzbeispiele zu finden.

In den USA wird der Optimierung industrieller Bauteilreinigungsprozesse seit längerem eine große Bedeutung beigemessen. Zahlreiche öffentliche Förderprogramme, die regelmäßig erscheinenden Zeitschriften „CleanTech and Parts Cleaning Magazine“ und „Magazine of Critical Cleaning Technology“, das im Internet angesiedelte Fachforum „CleanTechCentral“ sowie die jährlich stattfindende Messe „CleanTech“ mit dem Themenschwerpunkt Bauteilreinigung unterstreichen dies.

In dem 1997 erschienenen Buch "Practical Guide to Industrial Metal Cleaning" /pet97/ gibt *D. S. Peterson*, einen umfassenden Überblick über die derzeit in der Praxis eingesetzten Nassreinigungsprozesse und liefert dem Anwender konkrete Hilfestellung zur Prozessgestaltung. Zu diesem Zweck beschreibt er zunächst die Eigenschaften und Zusammensetzung von Bearbeitungsfluiden, da diese die am häufigsten vorkommenden Verunreinigungen darstellen. Im Folgenden werden die verschiedenen Reinigungsmittel vorgestellt und ihre Eignung für die wichtigsten Gebrauchsmetalle beschrieben. In einem weiteren Kapitel werden typische Anlagenbauformen und erforderliches Equipment dargestellt. Jeweils ein eigenes Kapitel beschäftigt sich mit Spülprozessen, der Bauteiltrocknung, der Reinigeraufbereitung und der Bestimmung der Bauteilreinheit. Ferner werden Grundlagen der statistischen Prozesskontrolle und der Versuchsplanung zur Optimierung von Reinigungsprozessen vermittelt. Das Vorgehen bei der Auswahl und Auslegung eines neuen Reinigungsprozesses wird in einem eigenen Kapitel kurz umrissen. Dem Autor gelingt es, durch die ganzheitliche Betrachtung von der Herkunft der Verschmutzungen über die Reinigung, das Spülen und Trocknen, bis hin zur Reinigeraufbereitung und Prozesskontrolle, eine umfassende und praxisgerechte Anleitung für die Auslegung und Optimierung von Nassreinigungsprozessen zu geben. Dabei steht nicht die Reinigung selbst, sondern vielmehr die Optimierung des Gesamtprozesses, z. B. auch durch Vermeidung von schwer abzureinigenden Bearbeitungsfluiden, im Vordergrund.

Die "American Society for Testing and Materials", Herausgeber der US-Amerikanischen ASTM-Standards, beschäftigt sich bereits seit längerer Zeit mit dem Themengebiet der industriellen Bauteilreinigung. Dabei steht die Wahl geeigneter Reinigungsverfahren und -mittel sowie die optimale Auslegung der Reinigungsprozesse im Vordergrund. Ein 1996 im *ASM International Verlag* erschienenes fünfbändiges Handbuch fasst die wichtigsten bis zu diesem Zeitpunkt gewonnenen Erkenntnisse zusammen.

Im ersten Band mit dem Titel "Choosing a Cleaning Process" /NN96a/ werden zunächst sechs Gruppen von Verschmutzungen abgegrenzt:

- Pigmenthaltige Ziehmittel
- Polier- und Schleifmittel
- Pigmentfreie Öle und Fette
- Rost und Zunder
- Späne und Schneidöle/KSS
- Sonstige

Diese Schmutzgruppen werden ausführlich beschrieben, wobei insbesondere auf die aus der Schmutzzusammensetzung resultierenden Anforderungen an die Reinigung eingegangen wird. Als Auslegungshilfe wird eine tabellarische Übersicht sinnvoller Reinigungsprozesse in Abhängigkeit von der auftretenden Verschmutzung, dem Reinigungszweck und der Losgröße gegeben. Dabei werden allerdings lediglich die ersten vier der sechs Verschmutzungsgruppen und nur die verbreitetsten Reinigungsverfahren berücksichtigt (siehe **Bild 2.4**).

		Zwischenreinigung	Vorbereitung zum Lackieren	Vorbereitung zum Phosphatieren	Vorbereitung zum Beschichten
pigmenthaltige Ziehmittel	Einzelteile/ Kleinserie	<ul style="list-style-type: none"> • Handreinigung mit heißen wässrigen Reinigern • Einstufige Spritzreinigung mit Neutralreiniger • Dampfentfettung 	<ul style="list-style-type: none"> • Abkochen in alkalischen Reinigern, abblasen, von Hand nachwischen • Dampfentfettung, von Hand nachwischen • Reinigung mit saurem Reiniger 	<ul style="list-style-type: none"> • Handreinigung mit heißem Neutralreiniger, einstufige Spritzreinigung, heiß spülen, von Hand nachwischen 	<ul style="list-style-type: none"> • Tauchreinigung mit heißem alkalischen Reiniger, spülen mit heißem Wasser, von Hand nachwischen, elektrolytisch reinigen, spülen mit kaltem Wasser
	Großserie	<ul style="list-style-type: none"> • Wässrige Spritzreinigung im Durchlaufverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Tauchreinigung, spülen mit heißem Wasser, alkalische Spritzreinigung, spülen mit heißem Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische oder saure Tauchreinigung, heiß spülen, alkalische oder saure Spritzreinigung, heiß spülen 	<ul style="list-style-type: none"> • Tauchreinigung mit heißem alkalischem oder Neutralreiniger, spülen mit heißem Wasser, elektrolytisch reinigen, heiß spülen
pigmentfreie Öle und Fette	Einzelteile/ Kleinserie	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Tauchen oder spritzen mit Neutralreiniger • Dampfentfettung • Tauchen in kaltes Lösemittel • Alkalische Tauchreinigung, spülen, trocknen oder tauchen in Rostschutzmittel 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Dampfentfettung • Ätzen mit Phosphorsäure 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Tauchen o. spritzen mit Neutralreiniger, spülen • Dampfentfettung • Alkalische Spritzreinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Neutralreinigung, spülen, elektrolytisch nachspülen, tauchen in Salzsäure, spülen
	Großserie	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Dampfentfettung • Wässrige Reinigung, schleudern, Spritzreinigung, spülen, trocknen 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Dampfentfettung 	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzreinigung (hoher Druck) mit Neutralreiniger, spülen • Dampfentfettung • Saure Reinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Dampfentfettung, elektrolytisch spülen, tauchen in Salzsäure, spülen
Späne+Öl/KSS	Einzelteile/ Kleinserie	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Tauchreinigung mit Tensiden • Lösemittel/Tri • Dampfstrahlen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Tauchreinigung mit Tensiden • Lösemittelreinigung oder Dampfentfettung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Tauchreinigung mit Tensiden • Lösemittelreinigung oder Dampfentfettung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Tauchreinigung, spülen, elektrolytisch reinigen, spülen, saure Tauchreinigung, spülen
	Großserie	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Reinigung (tauchen oder spritzen) mit Tensiden 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Reinigung (tauchen oder spritzen) mit Tensiden 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Reinigung (tauchen oder spritzen) mit Tensiden 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Tauchreinigung, spülen, elektrolytisch reinigen, spülen, saure Tauchreinigung, spülen
Polier- und Schleifmittel	Einzelteile/ Kleinserie	<ul style="list-style-type: none"> • Meist nicht erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Reinigung (mechanisch unterstützt) mit Tensiden, spülen • Tauchen in Neutralreiniger, spülen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Reinigung (mechanisch unterstützt) mit Tensiden, spülen • Tauchen in Neutralreiniger, spülen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wischen mit Lösemittel • Alkalische Reinigung (mechanisch unterstützt) mit Tensiden, spülen, elektrolytisch reinigen • Alkalische Spritzreinigung
	Großserie	<ul style="list-style-type: none"> • Meist nicht erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Spritzreinigung, spülen (spritzen) • Umfluten oder Spritzreinigung, spülen 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkalische Spritzreinigung, spülen (spritzen) • Spritzreinigung mit Neutralreiniger, spülen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrstufige alkalische Tauch- und Spritzreinigung, spülen, elektrolytisch reinigen, spülen, leichtes Anätzen mit Säure, spülen

Bild 2.4 Auswahltabelle für Reinigungsprozesse nach /NN96a/

In den weiteren vier Bänden des Handbuchs werden die gängigsten Reinigungsverfahren beschrieben.

Der zweite Band "Guide to Vapor Degreasing and Solvent Cold Cleaning" /NN96b/ beschäftigt sich mit der Lösemittel-Reinigung. Dabei werden neben den üblichen Anwendungsarten: Dampfentfetten, Wisch-, Tauch- und Spritzreinigung, auch die wichtigsten Reinigerformulierungen vorgestellt. Des Weiteren wird auf die optimale Anlagengestaltung, erforderliches Equipment sowie Möglichkeiten der Aufbereitung der verwendeten Reiniger eingegangen.

Im dritten Band "Guide to Mechanical Cleaning Systems" /NN96c/ werden die unterschiedlichen Trocken- und Nassstrahlverfahren beschrieben und deren Einsatzbereiche gegeneinander abgegrenzt. Den Strahlmitteln, die einen ebenso großen Effekt auf die erzielbare Oberflächenreinheit haben wie das Strahlverfahren selbst, wird ein eigenes Kapitel gewidmet.

Der vierte Band "Guide to Pickling and Descaling and Molten Salt Bath Cleaning" /NN96d/ beschreibt Verfahren zur Entfernung fest anhaftender Oberflächenschichten, wie z. B. Zunder oder Oxidschichten. Die beiden wichtigsten Verfahren, das Ätzen in Säuren und das Reinigen in geschmolzenen Salzbädern, werden vorgestellt und im Hinblick auf die erforderliche Badzusammensetzung in Abhängigkeit von dem zu reinigenden Bauteil untersucht. Dabei wird auch auf die Einsatzbedingungen, das erforderliche Zubehör, Sicherheitsvorkehrungen, mögliche Bauteilbeschädigungen und Umweltgefährdungen eingegangen.

Der fünfte und letzte Band "Guide to Acid, Alkaline, Emulsion, and Ultrasonic Cleaning" /NN97c/ beschreibt die Möglichkeiten der wässrigen Reinigung. Dabei wird eine Unterteilung der Verfahren nach dem pH-Wert der verwendeten Reinigungslösungen vorgenommen, da je nach pH-Wert unterschiedliche Mechanismen für die Reinigungswirkung verantwortlich sind. Neben typischen Reinigerformulierungen und deren Anwendungsgebieten werden auch die Möglichkeiten der mechanischen Unterstützung des Reinigungsprozesses beschrieben, wobei die Ultraschallunterstützung besonders herausgestellt und in einem eigenen Kapitel erläutert wird.

Das fünfbandige ASM-Handbuch gibt einen guten Überblick über die am weitesten verbreiteten Reinigungsverfahren und -mittel. Für Standardfälle werden sinnvoll einsetzbare Musterprozesse und -anlagen vorgeschlagen und ausführlich beschrieben. Die Zuordnung erfolgt dabei primär auf Grundlage von zusammengetragenem Praxiswissen und nicht aufgrund physikalischer oder chemischer Wirkzusammenhänge. Die oft erst vor wenigen Jahren entwickelten und daher in der Praxis noch nicht weit verbreiteten Sonderverfahren werden dabei nicht berücksichtigt.

B. Kanegsberg gibt in ihrem 2001 veröffentlichten "Handbook for Critical Cleaning" /kan01/ einen Überblick über die Feinreinigung. Dabei werden zunächst die einsetzbaren Reinigungsmittel ausführlich beschrieben, wobei besonderes Augenmerk auf die in jüngerer Zeit entwickelten Lösemittel-Alternativen für FCKW und CKW gelegt wird. Darauf folgend wird ein Überblick über die derzeit in der Praxis eingesetzten Feinreinigungsverfahren gegeben. Weitere Kapitel beschäftigen sich mit Testverfahren für die Oberflächenreinheit, speziellen Reinigungsproblemen, der Prozessüberwachung und zu beachtenden Sicherheitsbestimmungen.

Weitere Informationen können aus in den Zeitschriften "CleanTech and Parts Cleaning Magazine" und "Magazine of Critical Cleaning Technology" erschienenen Fachartikeln gewonnen werden. In diesen Zeitschriften veröffentlichen Einzelunternehmen und Forschungsinstitute ihre in Forschungsprojekten und konkreten Einsatzfällen gewonnenen Erkenntnisse. Dabei steht zum einen die Optimierung althergebrachter Prozesse und zum anderen die Einführung neuer Reinigungsverfahren im Vordergrund. Sämtliche seit 1994 erschienenen Artikel können in dem On-

line-Archiv des im Internet angesiedelten und von beiden Zeitschriften unterstützten Fachforums "CleanTechCentral" /NN02e/ abgerufen werden. In dieser Quelle werden zum Teil auch noch in der Entwicklung befindliche Sonderverfahren beschrieben.

2.4 Internetbasierte Fachinformationssysteme

Fachinformationen stellen den Ausgangspunkt für die Neuplanung und Verbesserung industrieller Produktionseinrichtungen und -prozesse dar. Die in Forschungsstätten und Einzelbetrieben gewonnenen Erkenntnisse müssen der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden, um in sämtlichen Betrieben, in denen oftmals das spezifische Fachwissen fehlt, umgesetzt werden zu können. Gerade in Kleinbetrieben ist dieser Informationsfluss derzeit jedoch oftmals noch ungenügend realisiert. Zwar sind von einem Arbeitsplatzrechner mit Internet-Anschluss eine Vielzahl von Fachinformationen abrufbar, jedoch ist das Informationsangebot zumeist unübersichtlich strukturiert, unvollständig und im ständigen Wandel begriffen. Zudem besteht häufig das Problem der Vermischung der technischen Informationen mit Werbeaussagen der einzelnen Anbieter. Obwohl die Fachinformationen also prinzipiell in elektronischer Form abgerufen oder zumindest angefordert werden können, besteht oft ein erhebliches Problem darin, die für ein konkretes Problem relevanten Informationen herauszufiltern und umzusetzen.

Für einen effektiven und schnellen Wissenstransfer von der aktuellen Forschung und Entwicklung in die industrielle Praxis müssen daher neuartige Hilfsmittel geschaffen werden. Einen vielversprechenden Ansatz hierzu stellen die in den letzten Jahren für unterschiedliche Anwendungsfälle entwickelten internetbasierten Fachinformationssysteme dar.

Eine einfache Art derartiger Systeme sind dialoggeführte Produktkataloge, die unter anderem von Herstellern von Kühlern /NN01j/, Wälz- und Gleitlagern /NN01k/, /NN01m/ oder Antennen /NN01n/ angeboten werden.

Einen erheblich größeren Funktionsumfang bieten Auslegungs- und Berechnungsprogramme, die entweder kostenfrei heruntergeladen werden können, wie z. B. die Auslegungswerkzeuge für Steuerungssysteme und Energieverteilernetze der Firma Möller /NN02k/, oder die von kommerziellen Anbietern als CD-Version vertrieben werden, wie z. B. das Informationssystem zum Kleben und Dichten der IFF GmbH /NN01h/.

Die Internetpräsenzen der Fachinformationszentren (FIZ), wie die des Frankfurter FIZ Technik /NN02f/, des FIZ Karlsruhe /NN02g/ oder des Berliner FIZ Chemie /NN02h/, ermöglichen den Zugriff auf umfassende, thematisch orientierte Literaturdatenbanken.

Bei fachlichen Foren steht meist die Kontaktvermittlung im Vordergrund, und es wird in vielen Fällen die Möglichkeit zur öffentlichen Diskussion gegeben. Beispiele hierzu finden sich zu unterschiedlichen Themengebieten, wie der Produktentwicklung /NN01i/, der Galvanik /NN01l/, /NN02a/ oder der Bauwirtschaft /NN01o/.

Speziell für die industrielle Bauteilreinigung existieren bislang nur wenige Ansätze.

Im deutschsprachigen Raum ist hier lediglich die Fachzeitschrift "JOT - Journal für Oberflächentechnik" /NN01g/ zu nennen. Das Journal für Oberflächentechnik unterhält im Rahmen seines Internetauftritts ein Online-Archiv, ein fachliches Frage-und-Antwort-Forum und eine nach Produktkategorien gegliederte Marktübersicht.

Die US-Amerikanische Internetseite „Cleantechcentral“ /NN02e/ bietet ähnliches für den englischsprachigen Raum und erweitert das Angebot zudem noch um eine Artikeldatenbank, in der Fachartikel zu einzelnen Reinigungsverfahren abgerufen werden können.

Fachinformationen zu den gebräuchlichsten Lösemitteln stellt die internetbasierte Datenbank "SOLV-DB" des US-Amerikanischen "National Center for Manufacturing Sciences" /NN02i/ bereit. Der Anwender kann die Datenbank nach unterschiedlichen Kriterien durchsuchen und erhält Informationen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften des gewählten Lösemittels sowie alle relevanten Arbeits- und Umweltschutzdaten. Zu den einzelnen Lösemitteln können entsprechende Anbieter aus einer Datenbank ermittelt werden.

Einen Ansatz für ein Auswahlssystem, mit dem für eine gegebene Aufgabenstellung gezielt ein geeignetes Reinigungsmittel gesucht werden kann, stellt die in einem US-Forschungsprojekt entwickelte „Sage: Solvent Alternatives Guide“ /NN01d/ dar. Dieses System bewertet die dort hinterlegten Reiniger und Verfahren in Abhängigkeit von der in einem Fragebogen spezifizierten Aufgabenstellung. Allerdings sind in diesem System lediglich ausgewählte Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel vertreten, die hinterlegte Wissensbasis ist relativ einfach gehalten, und es ist keine Übersicht der entsprechenden Hersteller oder Lieferanten integriert.

3 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehen

3.1 Problemstellung

Der Einsatz konstruktionsmethodischer Vorgehensweisen bei der Planung, Auslegung und Konstruktion von Produkten unterstützt das schnelle und sichere Auffinden guter Lösungen. Die Konstruktionsmethodik stellt dabei keinen Selbstzweck dar, sondern soll dem Konstrukteur als Hilfestellung dienen. Der dabei betriebene Mehraufwand ist an den Umfang des Projektes anzupassen. Gerade bei der Lösung von Aufgaben, bei denen auf wenig Erfahrungswissen zurückgegriffen werden kann, kann ein stark systematisiertes Vorgehen helfen, Fehler zu vermeiden.

G. Pahl und *W. Beitz* /pah97/ untergliedern den Prozess des Planens und Konstruierens in vier grundlegende Phasen (siehe **Bild 3.1**):

- Phase 1: Planen und Klären der Aufgabe
- Phase 2: Konzipieren
- Phase 3: Entwerfen
- Phase 4: Ausarbeiten

Bei der Planung bzw. Konstruktion einer Reinigungsanlage ergeben sich bereits in den ersten beiden Phasen Probleme, wenn der Konstrukteur nicht über ausreichendes Fachwissen aus dem Bereich der Bauteilreinigung verfügt. Im Folgenden werden die Anwendung der konstruktionsmethodischen Vorgehensweise nach *G. Pahl* und *W. Beitz* /pah97/ bei der Planung und Konstruktion einer Reinigungsanlage sowie die dabei häufig auftretenden Probleme erläutert.

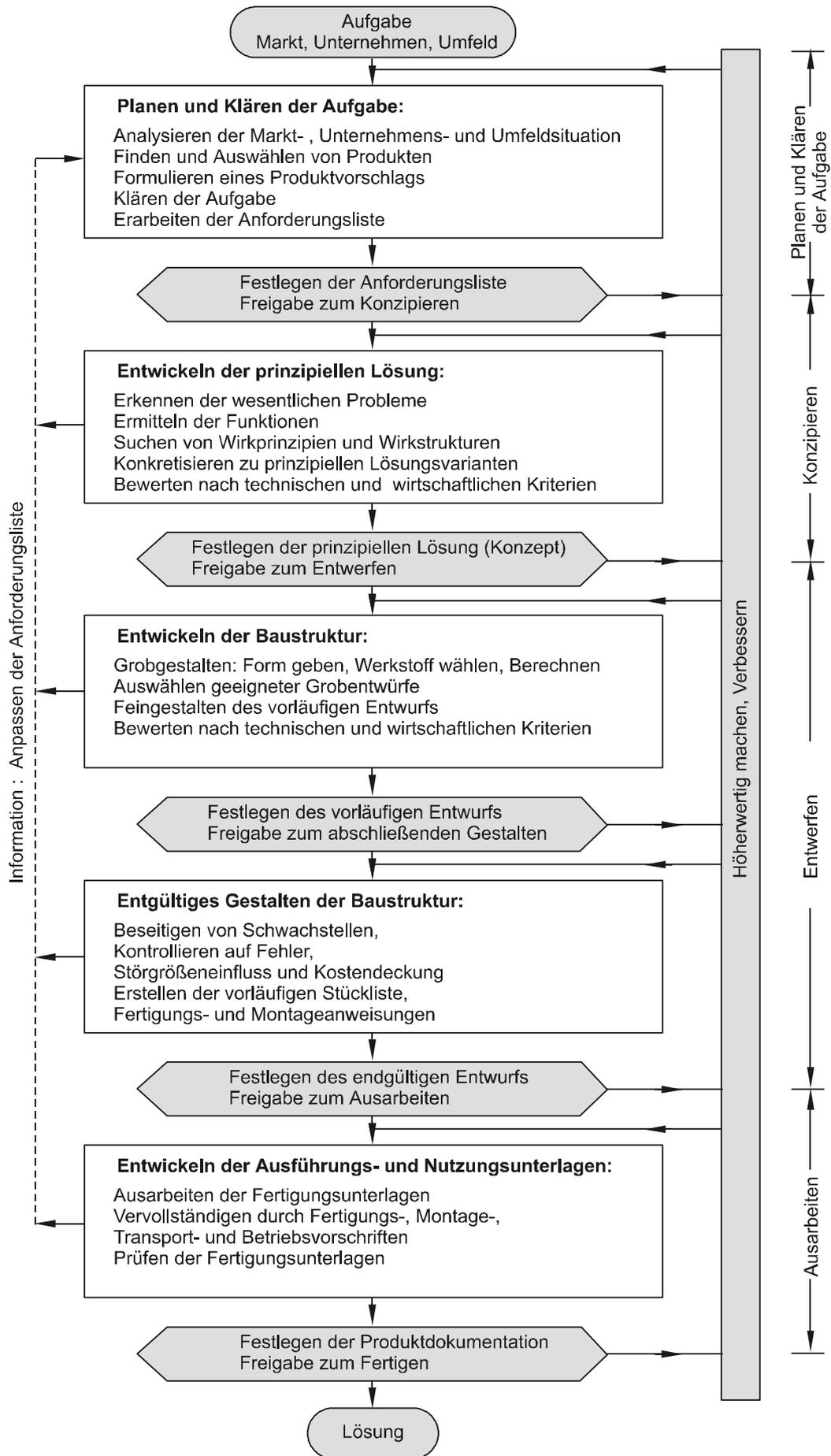


Bild 3.1 Arbeitsschritte beim Planen und Konstruieren nach /pah97/

3.1.1 Phase 1: Planen und Klären der Aufgabe

Ausgangspunkt für jede Produktentwicklung ist zunächst eine Aufgabe, die vom Markt, dem Unternehmen oder dem Umfeld vorgegeben wird. Im Falle der Planung einer Reinigungsanlage stammt die Aufgabe in der Regel aus der Fertigungsabteilung des Unternehmens, in dem die Anlage später eingesetzt werden soll, da eine effektive Bauteilreinigung die Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung nachfolgender Fertigungsschritte, wie das Kleben, Beschichten, Galvanisieren, Schweißen, Löten, Lackieren usw., darstellt. Soll eine Endreinigung von Bauteilen vor dem Verkauf erfolgen, ergibt sich die Aufgabenstellung durch Spezifikationen der Abnehmer bzw. durch den Markt.

Gerade in kleinen und mittelständischen Unternehmen des produzierenden Gewerbes steht meist kein Reinigungsfachmann zur Verfügung, der über den für eine effiziente Anlagenauslegung erforderlichen Wissensstand verfügt. In vielen Fällen ist zudem das Problembewusstsein bezüglich möglicher Schwierigkeiten bei der Bauteilreinigung nicht sehr ausgeprägt. Die Aufgabe wird daher zumeist sehr unpräzise formuliert. Ein Beispiel hierfür wäre:

"Wir benötigen eine Reinigungsanlage, in der wir unsere Produkte möglichst kostengünstig reinigen können".

Unabhängig davon, ob die erforderliche Reinigungsanlage von einem Fremdanbieter zugekauft oder selbst konstruiert werden soll, muss die Aufgabenstellung präzisiert werden. Bei dieser Klärung der Aufgabenstellung müssen alle Informationen bezüglich der an die Reinigungsanlage zu stellenden Anforderungen beschafft werden. Diese Fachinformationen auf dem Wege der Recherche zusammenzutragen, ist umständlich und zeitaufwändig, da das Wissen aus dem Bereich der Bauteilreinigung bislang nur unübersichtlich und unstrukturiert vorliegt (siehe Stand der Technik in Kapitel 2). Soll das Fachwissen eines betriebsexternen Experten zu Rate gezogen werden, besteht in vielen Fällen zunächst ein Problem darin, den richtigen Ansprechpartner zu finden, da die Anbieter von Reinigungsanlagen und Planungsdienstleistungen meist stark spezialisiert sind.

Das Ergebnis der Planungsphase ist eine Anforderungsliste, die alle Anforderungen an die zu konstruierende bzw. zu beschaffende Reinigungsanlage enthält. Die Anforderungen sind in Festforderungen und Wünsche zu unterteilen.

Forderungen müssen unter allen Umständen erfüllt werden; Lösungen, die diesen nicht genügen, müssen ausgeschlossen werden.

Wünsche sollten nach Möglichkeit berücksichtigt werden. Die Erfüllungsgrade der Wünsche können als Bewertungskriterien für Lösungsvarianten herangezogen werden.

Sowohl Forderungen als auch Wünsche sind nach Möglichkeit zu quantifizieren. Wo dies nicht möglich ist, müssen klare verbale Aussagen getroffen werden. Eine präzise Formulierung und zahlenmäßige Festlegung aller Anforderungen ist in diesem frühen Stadium der Produktplanung in vielen Fällen noch nicht möglich. Es sollte dann zumindest eine vorläufige Anforderungsliste erstellt werden, welche im weiteren Verlauf des Konstruktionsprozesses schrittweise vervollständigt wird. **Bild 3.2** zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus einer Anforderungsliste für eine Reinigungsanlage.

Anforderungsliste					
Reinigungsanlage für Drehteile					
Auftraggeber				Datum	01.04.03
Meier GmbH & Co KG				Seite	1
Nr.	Anforderungen			F/W	Änderung
1	Geometrie				
1.1	Aufnahme von Warenkörben mit Abmessungen 600x400x300 mm (LxBxH)			F	(1)
1.2	Bauteillängen bis 300 mm			F	
1.3	Auch größere Bauteillängen möglich (bis max. 1000 mm)			W	
1.4	
2	Energie				
2.1	Anschluss an CEE-Steckdose 400 V/32 A			F	
2.2	Energieverbrauch so gering wie möglich			W	
2.3	
3	Stoff				
3.1	Zu reinigende Bauteile: Unterschiedliche Stähle (rostfrei und nicht rostfrei)			F	
3.2	Verschmutzungen: Kühlschmierstoffe + Späne + Werkstattstaub			F	
3.3	
Ind.	Nr.	Datum	Änderungen		
(1)	1.2	17.11.01	war 500 mm, Änderung durch den Auftraggeber		

Bild 3.2 Ausschnitt aus einer Anforderungsliste für eine Reinigungsanlage

Bei der Erarbeitung der Anforderungsliste sollte bewusst versucht werden, sich von vorfixierten Lösungen abzuwenden und lediglich die Eigenschaften zu fordern, die zur Erfüllung der Funktion unbedingt erforderlich sind. Ein derartiges Vorgehen hilft, den Lösungsraum zu erweitern und optimale Lösungen zu finden. Die Erarbeitung einer quantifizierten, vollständigen und lösungsneutral formulierten Anforderungsliste für eine Reinigungsanlage stellt gerade in kleinen und mittelständischen Unternehmen, in denen nur wenig Know-How aus dem Bereich der Bauteilreinigung vorliegt, ein erhebliches Problem dar.

3.1.2 Phase 2: Konzipieren

In der Konzeptphase wird, ausgehend von der Anforderungsliste, systematisch eine prinzipielle Lösung entwickelt. Dabei werden nach /pah97/ die folgenden Arbeitsschritte durchlaufen:

1. Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme
2. Aufstellen von Funktionsstrukturen
3. Suchen von Wirkprinzipien und Wirkstrukturen
4. Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten
5. Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

3.1.2.1 Abstrahieren zum Erkennen der wesentlichen Probleme

Inhalt dieses ersten Arbeitsschrittes ist die Abstraktion der Anforderungen aus der Anforderungsliste, mit dem Ziel, lösungsneutrale Formulierungen zu finden. Bei der Planung einer Reinigungsanlage ist eine derartige Abstraktion in der Regel nicht erforderlich, da die Anforderungen aufgrund des oft unvollständigen Informationsstandes bezüglich der Möglichkeiten der Bauteilreinigung ohnehin meist sehr abstrakt formuliert werden. Dennoch sollte die Anforderungsliste in diesem Schritt kritisch auf Formulierungen überprüft werden, welche die Lösung bereits vorwegnehmen.

3.1.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

Die Gesamtfunktion einer Reinigungsanlage kann allgemein formuliert werden als das "Reinigen von Bauteilen". Diese Gesamtfunktion kann in Teilfunktionen aufgegliedert werden. Die Blockdarstellung der einzelnen Teilfunktionen, deren Energie-, Stoff- und Signalumsätze untereinander und der Eingangs- und Ausgangsgrößen ergibt die Funktionsstruktur. Das Auflösen der Gesamtfunktion in Teilfunktionen kann in unterschiedlichem Detaillierungsgrad erfolgen. Einzelne Teilfunktionen können erneut aufgelöst werden, so dass sich neue Funktionsschichten ergeben. **Bild 3.3** zeigt beispielhaft eine grobe Funktionsstruktur einer Reinigungsanlage.

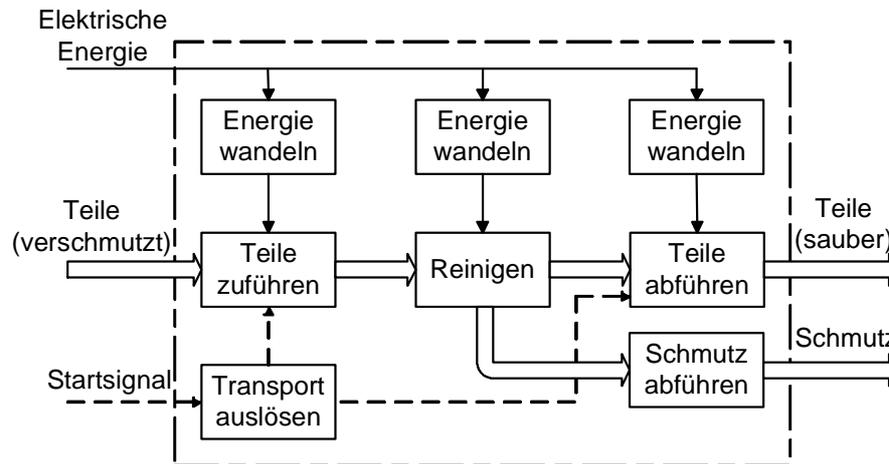


Bild 3.3 Beispielhafte Funktionsstruktur einer Reinigungsanlage

Eine weitere Aufgliederung der Teilfunktion "Reinigen" ist zunächst nicht sinnvoll, da es hierdurch leicht zu einer Einschränkung des Lösungsraumes kommt. Eine Aufteilung in die Teilfunktionen "Waschen", "Spülen" und "Trocknen" impliziert beispielsweise die Verwendung flüssiger Reinigungsmedien.

3.1.2.3 Suchen von Wirkprinzipien und Wirkstrukturen

Ausgehend von der Funktionsstruktur werden zu den einzelnen Teilfunktionen Wirkprinzipien gesucht, welche die beschriebenen Funktionen erfüllen. Diese Wirkprinzipien enthalten nach /pah97/ "... den für die Erfüllung der Funktion erforderlichen physikalischen Effekt sowie die geometrischen und stofflichen Merkmale". Als Hilfsmittel zur Lösungssuche können konventionelle Methoden, wie Literaturrecherche, Analyse technischer oder natürlicher Systeme, Modellversuche usw., intuitiv betonte Methoden, wie das Brainstorming, die Methode 635, die Synektik usw., oder diskursiv betonte Methoden, wie die Verwendung von Ordnungsschemata oder Katalogen, eingesetzt werden.

Bei der Planung einer Reinigungsanlage stellt die Suche nach Wirkprinzipien für die Teilfunktion "Reinigen" ein zentrales Problem dar. In der Regel ist es nicht erforderlich, gänzlich neue Lösungen für diese Teilfunktion zu finden. Vielmehr ist meist die Umsetzung eines bereits bekannten und erprobten Reinigungsverfahrens unter Beachtung der fallspezifischen Besonderheiten angestrebt.

Um keine Lösungsmöglichkeit von vornherein auszuschließen, sollten als Wirkprinzipien zunächst alle dem Stand der Technik entsprechenden Reinigungsverfahren berücksichtigt werden. Dies setzt jedoch umfassende Kenntnisse auf dem Gebiet der Bauteilreinigung voraus. Da bislang keine Ordnungsschemata oder Kataloge für das Reinigen existieren, ist der Konstrukteur in der Regel auf aufwändige Literaturrecherchen oder Expertenbefragungen angewiesen.

Nachdem für die einzelnen Teilfunktionen Wirkprinzipien gefunden sind, werden diese zu Wirkstrukturen kombiniert. Hierbei muss auf die physikalische und räumliche Verträglichkeit der kombinierten Lösungen geachtet werden. Ein häufig eingesetztes Hilfsmittel für die systematische Erstellung von Wirkstrukturen ist der morphologische Kasten (Beispiel siehe **Bild 3.4**).

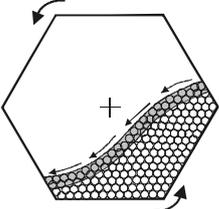
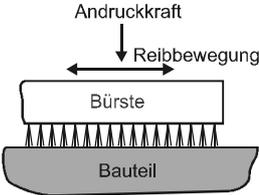
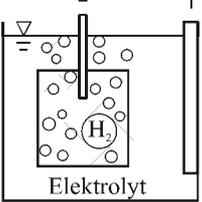
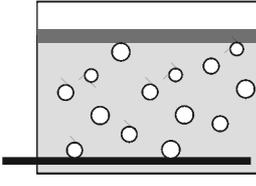
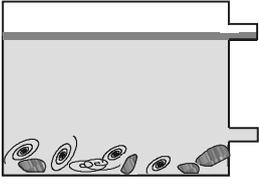
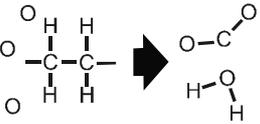
Funktionen	Wirkprinzipien			
Reinigen	 <p>Gleitschleifen</p>	 <p>Bürstreinigung</p>	 <p>Elektrochem. Reinigung.</p>	...
Schmutz abführen	 <p>Flotation</p>	 <p>Absetzbecken</p>	 <p>UV-Oxidation</p>	...
...

Bild 3.4 Morphologischer Kasten für eine Reinigungsanlage (Ausschnitt)

Da sich durch systematische Kombination aller verträglichen Wirkprinzipien eine sehr große Zahl an Wirkstrukturen ergibt, ist es zunächst sinnvoll, eine Vorauswahl der zu berücksichtigenden Wirkprinzipien und weiter zu verfolgenden Varianten zu treffen. Um die für eine Vorauswahl erforderliche Bewertung vornehmen zu können, muss der Konstrukteur über umfangreiches Wissen bezüglich der Hintergründe, Randbedingungen und Einsatzgrenzen der einzelnen Reinigungsverfahren verfügen.

3.1.2.4 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten

Die im letzten Arbeitsschritt entwickelten Wirkstrukturen sind meist noch zu wenig konkret, um eine endgültige Bewertung und Auswahl zuzulassen. Sie werden daher zunächst zu prinzipiellen Lösungsvarianten konkretisiert. Bei diesen prinzipiellen Lösungsvarianten handelt es sich in der Regel um Handskizzen, aus denen das Wirkprinzip sowie die geometrische Anordnung der grundlegenden Elemente ersichtlich sind.

Bei der Erstellung von Lösungsvarianten für Reinigungsanlagen können wichtige Gestaltungshinweise durch Analyse bestehender Anlagen abgeleitet werden. Des Weiteren können aus theoretischen Untersuchungen oder Versuchen gewonnene Formeln oder Kenngrößen zur Grobauslegung helfen, vorhandenes Fachwissen zur Oberflächenreinigung in die Konstruktion einfließen zu lassen. Dieses Wissen liegt zwar in Einzelbetrieben vor, ist jedoch für die Allgemeinheit meist nicht zugänglich.

3.1.2.5 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

Die erarbeiteten prinzipiellen Lösungsvarianten müssen im nächsten Schritt bewertet werden, um unter den gegebenen Alternativen das endgültige Konzept auswählen zu können. Dabei können unterschiedliche Bewertungsverfahren eingesetzt werden. Im Folgenden wird beispielhaft das in VDI 2225 vorgeschlagene Vorgehen beschrieben. Hierbei werden die wirtschaftliche und die technische Wertigkeit zunächst einzeln ermittelt und dann einander gegenüber gestellt.

Technische Wertigkeit

Als Bewertungskriterien können zunächst die Forderungen und Wünsche aus der Anforderungsliste herangezogen werden. Varianten, die nicht sämtliche in der Anforderungsliste aufgelisteten Forderungen erfüllen, werden direkt ausgeschieden. Alle übrigen Varianten werden nach dem Erfüllungsgrad der Wünsche bzw. dem Grad der gewünschten Überschreitung von Mindestforderungen bewertet. Nach Maßgabe des Konstrukteurs können auch allgemeine, nicht in der Anforderungsliste aufgeführte Bewertungskriterien hinzugezogen werden.

Die gewählten Bewertungskriterien sollten alle wesentlichen Eigenschaften abdecken, etwa gleichgewichtig und voneinander unabhängig sein. Sie sollten positiv formuliert werden, also z. B. "geringer Energieverbrauch" statt "Energieverbrauch" und ihre Anzahl sollte nicht zu hoch sein (maximal ca. 15).

Gelingt es nicht, weitgehend gleichgewichtige Bewertungskriterien aufzustellen, muss eine Gewichtung der Einzelkriterien vorgenommen werden. Die Gewichtungsfaktoren G können intuitiv abgeschätzt oder systematisch durch eine Gewichtungsmatrix ermittelt werden.

Sind die Bewertungskriterien festgelegt, wird die Eignung E jeder Lösungsvariante hinsichtlich jedes Kriteriums mit einer Punktzahl bewertet. VDI 2225 schlägt die Verwendung einer Punkteskala von 0 bis 4 mit der folgenden Bedeutung vor:

Punkte	Bedeutung
$E = 4$	Ausgezeichnete Lösung (seltene Spitzenqualität)
$E = 3$	Gute Lösung (+)
$E = 2$	Durchschnittliche Lösung (0)
$E = 1$	Schlechte Lösung (-)
$E = 0$	Untragbare Lösung (Variante scheidet aus)

Bild 3.5 Punkteskala zur Bewertung von Lösungsvarianten nach VDI 2225

Die Punktesumme $P = \sum E$ bzw. $P = \sum (G \cdot E)$ einer Lösung ist ein Maß für die relative Eignung im Vergleich zu den anderen Lösungsvorschlägen. Sie sagt jedoch noch nichts über die absolute Eignung der Lösung aus. Zur Beurteilung der absoluten Eignung wird die Wertigkeit W ermittelt. Die Wertigkeit einer Lösung ergibt sich aus dem Quotienten der erzielten Punktesumme und der maximal erreichbaren Punktesumme.

$$W = \frac{P}{P_{\max}} = \frac{\sum E}{n \cdot E_{\max}} \quad \text{bzw.} \quad W = \frac{\sum (G \cdot E)}{E_{\max} \cdot \sum G} \quad (3.1)$$

mit: n = Anzahl der Bewertungskriterien

Lösungen mit Wertigkeiten unter 0,6 sollten in der Regel nicht weiter verfolgt werden, Lösungen mit Wertigkeiten im Bereich von 0,6 bis 0,8 stellen zumeist brauchbare bis gute Lösungen dar. Wertigkeiten größer 0,8 deuten auf hervorragende Lösungen hin.

Wirtschaftliche Wertigkeit

Nach VDI 2225 werden bei der Ermittlung der wirtschaftlichen Wertigkeit lediglich die Herstellkosten betrachtet. Die Betriebskosten müssen bei der technischen Wertigkeit berücksichtigt werden. Das Vorgehen gliedert sich in die folgenden Arbeitsschritte:

1) Ermittlung des niedrigsten vergleichbaren Marktpreises $P_{M \min}$ durch Marktuntersuchungen.

2) Ermittlung des Kostenfaktors β aus der Betriebsabrechnung (alte Produkte):

$$\beta = \frac{\text{Marktpreis } P_M}{\text{Herstellkosten } H} \quad (3.2)$$

3) Ermittlung der "zulässigen" Herstellkosten für das neue Produkt:

$$H_{zul} = \frac{P_{M \min}}{\beta} \quad (3.3)$$

4) Bestimmung der "idealen" Herstellkosten aus Erfahrungswerten:

$$H_i = 0,7 \cdot H_{zul} \quad (3.4)$$

5) Ermittlung der wirtschaftlichen Wertigkeit des neuen Produkts:

$$W_w = \frac{H_i}{H_{Entwurf}} \quad (3.5)$$

Die Herstellkosten des neuen Produkts $H_{Entwurf}$ müssen dabei abgeschätzt werden.

Gegenüberstellung der Wertigkeiten

Die technische und die wirtschaftliche Wertigkeit einer Lösung können zur Veranschaulichung in einem Wertigkeitsdiagramm grafisch gegenübergestellt werden (siehe **Bild 3.6**).

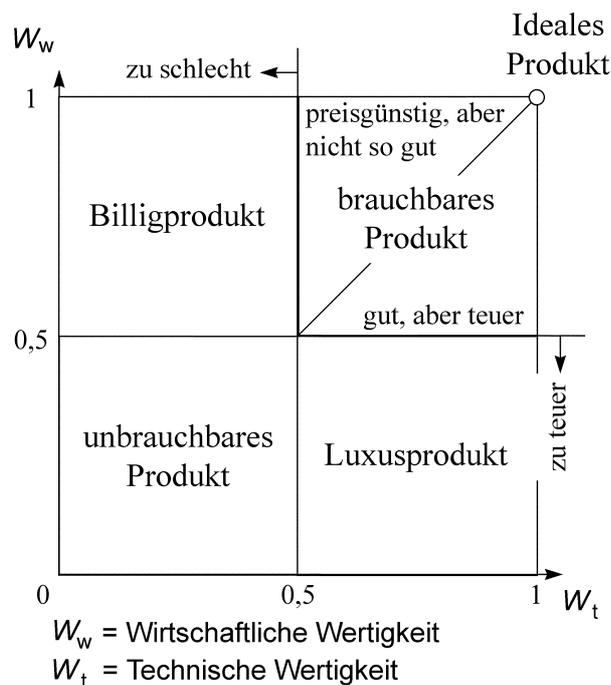


Bild 3.6 Wertigkeitsdiagramm nach VDI 2225

Das ideale Produkt verfügt über eine technische und wirtschaftliche Wertigkeit von eins und liegt in der oberen rechten Ecke des Diagramms. Ausgewogene Konstruktionen liegen in der Nähe der Diagonalen. Untereinander etwa gleichwertige Lösungen liegen auf Kreisen um den Idealpunkt. Unter den Lösungsvarianten ist demnach diejenige die beste, die im Wertigkeitsdiagramm den geringsten Abstand zum Idealpunkt aufweist. Die endgültig ausgewählte Prinziplösung (das Konzept) stellt das Ergebnis der Konzeptphase dar.

3.1.3 Phase 3: Entwerfen

"Unter Entwerfen wird der Teil des Konstruierens verstanden, der für ein technisches Gebilde von der Wirkstruktur bzw. prinzipiellen Lösung ausgehend die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig erarbeitet. Das Ergebnis des Entwerfens ist die gestalterische Festlegung einer Lösung." /pah97/.

Die in der Entwurfsphase durchzuführenden Arbeiten umfassen generell die Erstellung, Berechnung und Verbesserung von Entwurfszeichnungen in mehreren Korrekturschritten. Die dabei angewandten Methoden und Hilfsmittel sind von der Art des zu konstruierenden Produkts weitgehend unabhängig, so dass sich die Entwurfsphase einer Reinigungsanlage nicht grundlegend von der anderer Produkte unterscheidet. Es ist lediglich zu beachten, dass die mit den einzelnen Reinigungsverfahren und Reinigungsmitteln verbundenen Randbedingungen, z. B. Wahl korrosionsbeständiger Werkstoffe bei Einsatz aggressiver Reinigungsmittel, eingehalten werden.

3.1.4 Phase 4: Ausarbeiten

In der letzten Phase werden sämtliche zur vollständigen Projektdokumentation erforderlichen Unterlagen ausgearbeitet. Dies umfasst neben den zur Fertigung erforderlichen Unterlagen, wie Gesamt- und Baugruppenzeichnungen, Fertigungszeichnungen, Stücklisten usw., in vielen Fällen auch Montagebeschreibungen, Transportvorschriften, Datenblätter, Betriebsanleitungen u. ä. Die in dieser Phase durchgeführten Arbeiten werden zunehmend durch rechnerbasierte Systeme unterstützt und zum Teil bereits automatisiert. Bei der Konstruktion einer Reinigungsanlage ergeben sich in dieser Phase keine spezifischen Anforderungen.

3.2 Zielsetzung und Vorgehen

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines rechnerbasierten Fachinformationssystems, das die Konstruktion von Reinigungsanlagen effektiv unterstützt. Das Fachwissen soll dabei nicht nur bereitgestellt, sondern auch gezielt in der Planungs- und Konzeptfindungsphase angewendet werden. Zu diesem Zweck sollen fünf Werkzeuge erarbeitet werden:

1. Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen
2. Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen"
3. Vorbewertungssystem für Reinigungsverfahren und -mittel
4. Wissensbasis als Hilfe bei der Feinbewertung
5. Anbieterdatenbank zur gezielten Kontaktvermittlung

Diese Werkzeuge werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

3.2.1 Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen

Wie in Abschnitt 3.1.1 dargestellt, besteht für den Planer einer Reinigungsanlage, welcher nicht über ein hohes Maß an Fachwissen aus dem Bereich der industriellen Bauteilreinigung verfügt, bereits ein erhebliches Problem darin, seine Aufgabenstellung klar zu formulieren. Unabhängig davon, ob die erforderliche Reinigungsanlage von einem Fremdanbieter zugekauft oder im eigenen Betrieb gefertigt werden soll, muss zunächst eine Anforderungsliste erarbeitet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit soll daher zunächst ein Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen geschaffen werden. Dieses Anforderungsprofil soll alle Daten erfassen, die für eine vollständige und lösungsneutrale Formulierung der Aufgabe erforderlich sind und kann als Grundlage für die Erstellung einer Anforderungsliste dienen.

Um eine sinnvolle Quantifizierung der Anforderungen zu unterstützen, werden in den einzelnen Anforderungskategorien Klassen zur Wahl vorgegeben. Die Klasseneinteilung ist so zu wählen, dass eine Beurteilung der Eignung von Reinigungsverfahren und Reinigungsmitteln für die beschriebene Aufgabe möglich wird. Da das Anforderungsprofil vornehmlich Anwender mit nur wenig Hintergrundwissen aus dem Bereich der Bauteilreinigung unterstützen soll, muss es auch für den Nicht-Experten mit wenig Aufwand aufgenommen werden können.

3.2.2 Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen"

Im nächsten Schritt soll ein Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen" erstellt werden. Dieses Ordnungsschema soll dem Konstrukteur einen Überblick über sämtliche dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Reinigungsverfahren geben. Die Reinigungsverfahren stellen erprobte Wirkprinzipien für die zentrale Funktion einer jeden Reinigungsanlage dar.

Der Einsatz eines derartigen Ordnungsschemas in der Konzeptfindungsphase hilft Konstrukteuren mit wenig Fachwissen aus dem Bereich der Bauteilreinigung, schnell und ohne aufwändige Recherchen zu tragfähigen Wirkstrukturen zu gelangen. Dem Reinigungsfachmann kann die Übersicht über sämtliche einsetzbaren Reinigungsverfahren helfen, sich von vorfixierten Prinzipien zu lösen und optimale Varianten aufzufinden.

Eine komprimierte Beschreibung der physikalischen bzw. chemischen Hintergründe, Einsatzgebiete und Randbedingungen der Einzelverfahren soll als Hilfestellung bei der Vorauswahl geeigneter Wirkprinzipien dienen. Bei Nassreinigungsverfahren hat zudem die Art des eingesetzten Reinigungsmittels einen entscheidenden Einfluss auf das Reinigungsergebnis. Es soll daher auch eine Übersicht der Reinigungsmittel aufgenommen werden, wobei eine Gliederung der unzähligen marktüblichen Reinigerformulierungen in Gruppen mit einheitlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften unumgänglich ist.

3.2.3 Vorbewertungssystem für Reinigungsverfahren und -mittel

Da die aufgabenspezifische Auswahl geeigneter Reinigungsverfahren und -mittel ein hohes Maß an Hintergrundwissen über die jeweiligen Wirkmechanismen und Einsatzbedingungen erfordert, soll im nächsten Schritt ein rechnergestütztes Vorbewertungssystem geschaffen werden. Dieses System soll auf Grundlage von hinterlegtem Fachwissen die Eignung sämtlicher Reinigungsver-

fahren im Hinblick auf eine gegebene Aufgabenstellungen beurteilen und dem Konstrukteur so eine Entscheidungsgrundlage für die Vorauswahl geeigneter Wirkprinzipien liefern.

Der Anwender des Vorbewertungssystems spezifiziert zunächst seine Reinigungsaufgabe auf Grundlage des in Abschnitt 3.2.1 angesprochenen Anforderungsprofils. Anhand seiner Angaben wird dann die Eignung sämtlicher Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel (siehe Abschnitt 3.2.2) bewertet. Die Beurteilung soll auf nachvollziehbaren und wissenschaftlich begründbaren Kriterien fußen, da so sichergestellt wird, dass nicht nur diejenigen Verfahren vorgeschlagen werden, die üblicherweise in derartigen Fällen zum Einsatz kommen, sondern auch neu entwickelte Verfahren mit geringerer Verbreitung berücksichtigt werden. Besonderes Augenmerk soll auf eine übersichtliche und informative Darstellung, sowohl der Bewertung als auch der verwendeten Entscheidungsregeln, gelegt werden.

Die strukturierte Übersicht über die Eignung der einzelnen Reinigungsverfahren und -mittel, die das Vorbewertungssystem liefert, soll dem Konstrukteur als Hilfestellung dienen. Die endgültige Entscheidung kann und soll ihm jedoch nicht abgenommen werden, da in den meisten Anwendungsfällen spezifische Besonderheiten vorliegen, die in kein vorgefertigtes Schema gepresst werden können. Dem Konstrukteur soll daher im nächsten Schritt die Möglichkeit gegeben werden, sich ausführlich über die Einsatzgrenzen und Besonderheiten der möglicherweise für die Lösung seiner Reinigungsaufgabe geeigneten Verfahren und Reiniger zu informieren.

3.2.4 Wissensbasis als Hilfe bei der Feinbewertung

Als Hilfestellung zur Feinbewertung von Lösungsvarianten soll in das zu erarbeitende Fachinformationssystem eine umfangreiche Wissensbasis der Bauteilreinigung integriert werden, die eine schnelle und gezielte Recherche ermöglicht. Hierbei bietet sich die Strukturierung des Fachwissens in Form eines Online-Lexikons an, welches gemäß dem erarbeiteten Ordnungsschema (Abschnitt 3.2.2) gegliedert ist, jedoch mit Hyperreferenzen auf verwandte Themengebiete und externe Quellen verweist und nach Stichworten durchsucht werden kann. Dieses Lexikon der industriellen Bauteilreinigung soll neben der ausführlichen Beschreibung sämtlicher üblicher Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel auch Hintergrundinformationen zu den physikalischen und chemischen Wirkprinzipien, den Haupteinsatzgebieten, der Anlagengestaltung, der Prozessführung, der Bauteilnachbehandlung, der Umweltproblematik, dem Arbeitsschutz, der Reinigeraufbereitung und -entsorgung, der Gesetzeslage im Bereich der Bauteilreinigung sowie den einsetzbaren Test- und Analyseverfahren zur Beurteilung der Bauteilreinheit enthalten. Können Formeln oder Diagramme zur Grobdimensionierung ermittelt werden, sollen diese in die Wissensbasis aufgenommen und in Form einfach zu handhabender Auslegungshilfen nutzbar gemacht werden.

3.2.5 Anbieterdatenbank zur gezielten Kontaktvermittlung

Insbesondere in kleinen und mittelständischen Unternehmen des produzierenden Gewerbes werden Reinigungsanlagen in der Regel nicht selbst konstruiert, sondern es wird auf das Fachwissen eines Reinigungsfachmanns zurückgegriffen, bzw. es werden Reinigungsanlagen zugekauft. Aus diesem Grunde soll in das geplante Fachinformationssystem auch eine Anbieterdatenbank integriert werden, die eine gezielte Kontaktvermittlung zwischen den Anbietern aus der Reinigungsbranche und deren potentiellen Kunden ermöglicht.

Bild 3.7 verdeutlicht die Unterstützung der einzelnen Arbeitsschritte des Planens und Konzipierens einer Reinigungsanlage durch das im Rahmen dieser Arbeit zu erstellende Fachinformationssystem. Die dargestellten fünf Werkzeuge werden in den nachfolgenden Kapiteln erarbeitet.

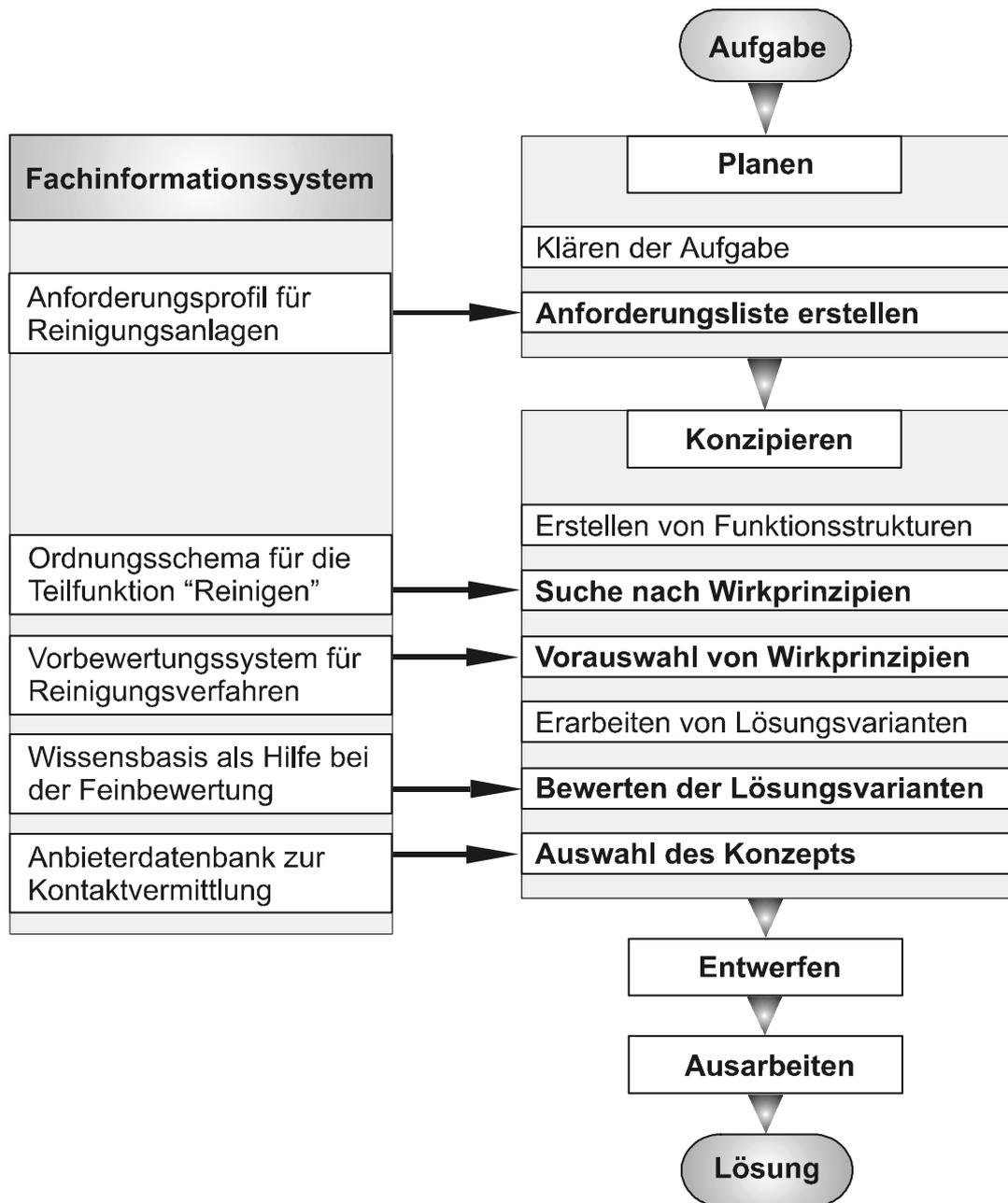


Bild 3.7 Fachinformationssystem zur Unterstützung der Konstruktion von Reinigungsanlagen

4 Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen

Wird in einem Unternehmen eine Reinigungsanlage projektiert, so muss die vorliegende Aufgabe zunächst so weit geklärt werden, dass eine Anforderungsliste erstellt werden kann (vgl. Kapitel 3, Ziel der Arbeit). Bereits in dieser Planungsphase ist ein erhebliches Maß an Fachwissen aus dem Bereich der Bauteilreinigung erforderlich, um zum einen die Reinigungsaufgabe vollständig zu erfassen und zum anderen die Anforderungen und Wünsche sinnvoll zu quantifizieren und so zu formulieren, dass die Lösung nicht vorweggenommen wird.

Als Hilfsmittel für die Erstellung der Anforderungsliste wird im vorliegenden Kapitel ein Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen erarbeitet, welches folgende Eigenschaften besitzt:

- **Universell einsetzbar** (Beliebige Reinigungsaufgaben können erfasst werden)
- **Einfach zu handhaben** (Erfassung der Anforderungen ohne aufwändige Datenerhebung)
- **Sinnvoll quantifiziert** (Nur so genau wie nötig, keine aufwändige Datenerhebung)
- **Lösungsneutral** (Keine Vorwegnahme des zur Reinigung einzusetzenden Wirkprinzips)

In einem ersten Arbeitsschritt werden alle sich aus der Reinigungsaufgabe ergebenden Anforderungen ermittelt und kategorisiert (Abschnitt 4.1). Fallspezifische Besonderheiten, wie betriebsinterne Regelungen, bereits vorhandene Anlagenteile oder Festforderungen der Kunden, bleiben dabei unberücksichtigt. Danach wird für jede einzelne Anforderungskategorie eine sinnvolle Klasseneinteilung erarbeitet (Abschnitt 4.2). Die Klassifizierung soll dabei so erfolgen, dass in der auf die Planungsphase folgenden Konzeptphase eine Zuordnung geeigneter Wirkprinzipien zu den vorliegenden Anforderungsklassen möglich wird (siehe Kapitel 6). Bei der Abgrenzung der Klassen wird zudem darauf geachtet, dass die Einordnung der Reinigungsaufgabe ohne großen Aufwand und ohne tiefer gehendes Spezialwissen aus dem Bereich der Bauteilreinigung erfolgen kann.

Das auf diese Weise geschaffene Anforderungsprofil ermöglicht eine schnelle und einfache Erfassung von Reinigungsaufgaben. Auf Grundlage eines konkreten Anforderungsprofils kann eine lösungsneutral formulierte und sinnvoll quantifizierte Anforderungsliste erstellt werden. Nicht unmittelbar mit der Reinigungsaufgabe verknüpfte zusätzliche Forderungen und Wünsche, wie zum Beispiel die maximale Stellfläche der Anlage oder der Anschluss an vorhandene Leitungssysteme, müssen im Einzelfall ergänzt werden.

4.1 Ermittlung der Anforderungskategorien

Die Anforderungen, die an eine Reinigungsanlage zu stellen sind, ergeben sich in erster Linie aus der zu bewältigenden Reinigungsaufgabe. Die Gesamtfunktion der Anlage kann bei einer Black-Box-Betrachtung als das "Reinigen von Bauteilen" beschrieben werden. Dabei stellen die verschmutzten Bauteile den Eingangsstoffstrom und die gereinigten Bauteile sowie die abgetrennten Schmutzstoffe die beiden Ausgangsstoffströme dar.

Für die Wahl geeigneter Wirkprinzipien für die Teilfunktion "Reinigen" sind diese Stoffströme entscheidend und bilden daher die Grundlage für das Anforderungsprofil. Der zugeführte Eingangsstoffstrom ist zum einen durch die Art der zu reinigenden Bauteile und zum anderen durch deren Verschmutzungszustand bestimmt. Die geforderte Mindestgüte der Trennung des Eingangsstoffstroms in die beiden Ausgangsstoffströme "gereinigte Bauteile" und "Verschmutzungen" entspricht den Reinheitsanforderungen. Hinzu kommen Anforderungen, welche die Weiter-

leitung der Stoffflüsse innerhalb der Anlage oder die Anlage als Ganzes betreffen. Dieser funktionsorientierten Betrachtung entsprechend, kann das Anforderungsprofil in vier Hauptkategorien gegliedert werden:

- Bauteileigenschaften
- Verschmutzungszustand
- Reinheitsanforderungen
- Anlagendaten

Bei den Bauteileigenschaften sind für die Konzeption einer Reinigungsanlage die Bauteilabmessungen, das Bauteilgewicht, der Bauteilwerkstoff und eventuell vorhandene Beschichtungen ausschlaggebend. Hinzu kommen Spezialfälle der Bauteilgestaltung, aus denen Ausschlusskriterien für einzelne Wirkprinzipien der Reinigung abgeleitet werden können.

Der Verschmutzungszustand wird durch die Schmutzmenge und die Zusammensetzung der Verschmutzung beschrieben. Beides sind wichtige Beurteilungskriterien für die Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen Reinigungsverfahren.

Die Reinheitsanforderungen werden nicht weiter aufgegliedert, da derzeit keine praxistauglichen Mess- oder Analyseverfahren zur exakten Bestimmung der Restschmutzmenge und -zusammensetzung existieren. Für die Beschreibung des angestrebten Reinheitsgrades muss eine sinnvolle Klasseneinteilung entwickelt werden.

Bei den Anlagendaten werden aus Gründen der universellen Einsetzbarkeit und einfachen Handhabbarkeit des Anforderungsprofils lediglich zwei Kenngrößen aufgenommen: Die maximalen Investitionskosten, die den Einsatz aufwändiger Reinigungsverfahren einschränken, sowie der Teiledurchsatz, der eine zentrale Rolle bei der Auslegung der Zuführungs- und Handhabungseinrichtungen spielt.

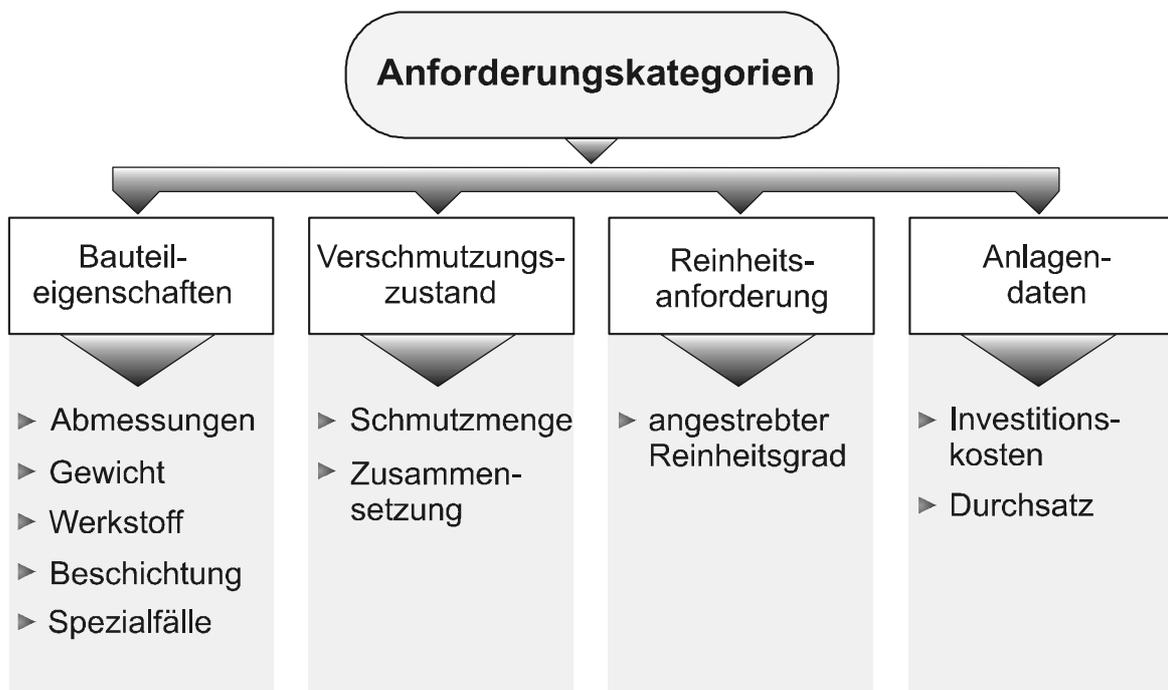


Bild 4.1 Übersicht der Anforderungskategorien

4.2 Klassifizierung der Anforderungskategorien

Zu jeder der im letzten Abschnitt gefundenen Anforderungskategorien wird nun eine Klasseneinteilung erarbeitet. Die Klassifizierung soll die Beschreibung einer gegebenen Reinigungsaufgabe ohne großen Aufwand und ohne tiefer gehendes Spezialwissen bezüglich der Bauteilreinigung ermöglichen. Die Klassen sollen zudem so abgegrenzt werden, dass in der Konzeptphase eine Beurteilung der Wirkprinzipien der Reinigung im Hinblick auf ihre Eignung für die beschriebene Reinigungsaufgabe erfolgen kann. Zur Benennung der Klassen wird ein eindeutiges Bezeichnungsschema eingeführt (siehe **Bild 4.2**).

Hauptkategorie		Unterkategorie		Klasse
Bauteileigenschaften	B-	Abmessungen	B-A-	1 bis 8
		Gewicht	B-G-	1 bis 6
		Werkstoff	B-W-	1 bis 14
		Beschichtung	B-B-	1 bis 5
		Spezialfälle	B-S-	1 bis 7
Verschmutzungszustand	V-	Schmutzmenge	V-S-	1 bis 4
		Zusammensetzung	V-Z-	1 bis 22
Reinheitsanforderungen	R-	Reinheitsgrad	R-R-	1 bis 4
Anlagendaten	A-	Investitionskosten	A-I-	1 bis 6
		Durchsatz	A-D-	1 bis 6

Bild 4.2 Übersicht der Anforderungsklassen

4.2.1 Bauteilabmessungen

Für die Auslegung einer Reinigungsanlage sind die Abmessungen der zu reinigenden Bauteile wichtige Kenngrößen. Die Bauteilabmessungen bestimmen unter anderem die Mindestmaße der eingesetzten Reinigungskammern und Becken. Zudem ist nicht in allen Fällen eine beliebige Skalierung einer Anlage möglich, da die zur Reinigung eingesetzten Wirkprinzipien oftmals Bauteile in einem bestimmten Größenbereich voraussetzen. Ein Beispiel hierfür ist das Strahlen mit CO₂-Pellets, welches bei Bauteilen versagt, deren Abmessungen die des verwendeten Strahlmittels (ca. 5x5x5 mm) nicht deutlich überschreiten. In vielen Fällen ergeben sich auch Einschränkungen aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen. Müssen zum Beispiel sehr große Bauteile gereinigt werden, sollten keine Hochdruck- oder Vakuumkammern eingesetzt werden, da diese hohe Investitions- und Betriebskosten bedingen.

Eine exakte Beschreibung der Bauteilgeometrie ist relativ aufwändig, zumal in der Regel nicht nur eine Bauteilart, sondern ein mehr oder weniger breit gefächertes Produktspektrum gereinigt werden muss. Als einfach zu erfassendes und gegebenenfalls zu schätzendes Maß wird für die Klassifizierung die längste Abmessung der Bauteile herangezogen (siehe **Bild 4.3**). Waren, die auf Coils aufgewickelt werden, wie z. B. Blechbänder, Schläuche oder Drähte, erhalten eine eigene Klasse, da sie in der Regel abgewickelt und im Durchlaufverfahren gereinigt werden.

Die Klasseneinteilung ist so gewählt, dass eine direkte Zuordnung geeigneter Reinigungsverfahren (siehe Kapitel 5) möglich wird. Zum Beispiel erfolgt die Reinigung mit flüssigem CO₂ in einer Hochdruckkammer bei ca. 15 MPa. Die dabei eingesetzten Druckkammern besitzen bislang Fassungsvermögen bis maximal 100 l. Überschreiten die Bauteilabmessungen 500 mm (Klassen

B-A-5 bis B-A-7) oder handelt es sich um Coilware (Klasse B-A-8), wird der erforderliche Anlagenaufwand zu hoch. Es sollte anderen Reinigungsverfahren der Vorzug gegeben werden.

Klasse	Längste Bauteilabmessung
B-A-1	unter 1 mm
B-A-2	1 mm bis 10 mm
B-A-3	10 mm bis 100 mm
B-A-4	100 mm bis 500 mm
B-A-5	500 mm bis 1000 mm
B-A-6	1000 mm bis 5000 mm
B-A-7	über 5000 mm
B-A-8	Coilware

Bild 4.3 Anforderungskategorie: Bauteilabmessungen

4.2.2 Bauteilgewicht

Ebenso, wie die längste Abmessung, stellt das Gewicht der zu reinigenden Bauteile ein wichtiges Auslegungskriterium für eine Reinigungsanlage dar. Das Bauteilgewicht ist nicht nur mitbestimmend für die Gestaltung der Zuführungs- und Handhabungseinrichtungen, sondern schränkt auch die Verwendung bestimmter Reinigungsverfahren ein. Zum Beispiel muss das Bauteilgewicht einen Mindestwert überschreiten, damit eine effektive Strahlreinigung möglich wird, jedoch muss es einen Maximalwert unterschreiten, um eine beschädigungsfreie Reinigung in Reinigungstrommeln zu ermöglichen.

Zur Quantifizierung des Bauteilgewichts wird eine Klasseneinteilung gemäß **Bild 4.4** eingeführt. Unter dem Bauteilgewicht wird dabei das Gewicht eines einzelnen Bauteils und nicht das Chargengewicht verstanden. Für Teile, die zu Reinigungszwecken nicht von ihrem Standort weg bewegt werden sollen oder können, wie dies zum Beispiel bei Reparatur- oder Wartungsarbeiten an Großmaschinen, Kesseln, Anlagen usw. der Fall ist, wird eine eigene Kategorie eingeführt.

Klasse	Bauteilgewicht
B-G-1	unter 1 g
B-G-2	1 g bis 100 g
B-G-3	100 g bis 1 kg
B-G-4	1 kg bis 10 kg
B-G-5	über 10 kg
B-G-6	Bauteil wird nicht bewegt

Bild 4.4 Anforderungskategorie: Bauteilgewicht

Die gewählte Klassifizierung ermöglicht zum einen eine einfache und schnelle Spezifikation durch Abschätzen des Bauteilgewichts und zum anderen eine Zuordnung von geeigneten Wirkprinzipien der Reinigung.

4.2.3 Bauteilwerkstoff

Die physikalischen Eigenschaften des Bauteilwerkstoffs, wie z. B. seine Hitzebeständigkeit, Leitfähigkeit oder Gasaufnahmefähigkeit, haben einen Einfluss auf die einsetzbaren Reinigungsprinzipien. Seine chemischen Eigenschaften schränken darüber hinaus die Auswahl der verwendbaren Reinigungsflüssigkeiten ein, da es bei der Reinigung zu keinem unzulässigen Werkstoffangriff durch Korrosion oder Löseprozesse kommen darf.

Hinsichtlich ihres Verhaltens bei der Reinigung ist eine relativ grobe Einordnung der Werkstoffe in Gruppen mit weitgehend einheitlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften ausreichend. Es werden 14 Klassen gebildet, die die wichtigsten Gebrauchsmetalle sowie Glas, Keramik und Kunststoffe abdecken (siehe **Bild 4.5**). Liegt ein Verbundteil oder eine Baugruppe vor, so sind alle beteiligten Einzelwerkstoffe anzugeben.

Klasse	Werkstoffgruppe	Klasse	Werkstoffgruppe
B-W-1	Unlegierter Stahl/Baustahl	B-W-8	Bronze
B-W-2	Rostfreier Stahl	B-W-9	Kupfer
B-W-3	Gehärteter/Angelassener Stahl	B-W-10	Zink/Cadmium
B-W-4	Grauguss/Temperguss	B-W-11	Zinn/Blei
B-W-5	Aluminium(legierungen)	B-W-12	Titan/Zirkon
B-W-6	Magnesium(legierungen)	B-W-13	Glas/Keramik
B-W-7	Messing	B-W-14	Kunststoff

Bild 4.5 Anforderungskategorie: Bauteilwerkstoff

4.2.4 Beschichtung des Bauteils

Neben dem Grundwerkstoff des zur reinigenden Bauteils ist auch eine möglicherweise vorhandene Oberflächenbeschichtung bei der Planung des Reinigungsprozesses zu berücksichtigen. Darf die Beschichtung während der Reinigung nicht beschädigt werden, muss ein oberflächenschonendes Wirkprinzip gewählt werden. Soll die Beschichtung hingegen entfernt werden, muss ein geeignetes Entschichtungsverfahren gefunden werden. Darüber hinaus können Beschichtungen den Einsatz bestimmter Wirkprinzipien einschränken. Zum Beispiel verhindert eine Lackierung den bei einer elektrochemischen Reinigung erforderlichen Stromfluss durch die Bauteiloberfläche. Es werden fünf Klassen von Beschichtungen abgegrenzt (siehe **Bild 4.6**).

Klasse	Beschichtung
B-B-1	Anstrich/Lackierung
B-B-2	Kunststoffbeschichtung
B-B-3	Pulverbeschichtung
B-B-4	Galvanischer Überzug
B-B-5	Andere Beschichtung

Bild 4.6 Anforderungskategorie: Beschichtung des Bauteils

B-B-1 Anstrich/Lackierung

Die erste Klasse umfasst Anstriche und Lackierungen, welche vornehmlich aus organischen Grundkomponenten und anorganischen Beimengungen (z. B. Pigmenten) bestehen. Sie sind zu meist nur wenige Hundertstel- bis Zehntelmillimeter dick und werden durch Abrasion leicht be-

schädigt. Die organischen Grundkomponenten verfügen über eine nur geringe thermische Stabilität und können in vielen Fällen in Lösemitteln gelöst werden. Anstriche und Lackierungen sind im Allgemeinen nicht elektrisch leitend.

B-B-2 Kunststoffbeschichtung

Kunststoffschichten werden oftmals als Korrosions- oder Verschleißschichten auf metallische Bauteile aufgebracht. Typische Schichtstärken liegen im Bereich von einigen Zehntelmillimetern bis hin zu wenigen Millimetern, wodurch eine hohe Verschleißfestigkeit erreicht wird. Kunststoffschichten sind nur in geringem Umfang thermisch belastbar und zersetzen sich bei wenigen hundert Grad Celsius. Sie sind weitgehend unempfindlich gegen Säuren und Laugen, können jedoch durch Lösemittel angegriffen werden.

B-B-3 Pulverbeschichtung

Bei der Pulverbeschichtung werden Kunststoffpulver oder Lackpulver mit Hilfe elektrostatischer Aufladung auf die Bauteiloberfläche aufgebracht und anschließend in einem Ofen eingebrannt. Die auf diese Weise erstellten Beschichtungen können größere Schichtstärken als herkömmliche Lackierungen aufweisen (ca. 50 bis 100 μm) und sind daher weniger empfindlich gegenüber Abrasion und Verschleiß. Pulverbeschichtungen sind in der Regel nicht elektrisch leitend und dürfen meist keinen hohen Temperaturen ausgesetzt werden.

B-B-4 Galvanischer Überzug

Galvanische Überzüge werden durch elektrolytische Abscheidung von Metallionen aus einer Metallsalz-Lösung erzeugt. Die Stärke des aufgetragenen Überzugs hängt von der verwendeten Stromdichte und der Behandlungszeit ab und beträgt in der Regel maximal 10 μm . Werden harte Schichten aufgebracht, wie z. B. beim Hartverchromen, kann der Verschleißwiderstand der Oberfläche deutlich gesteigert werden. Übliche galvanische Überzüge ertragen problemlos Temperaturen bis zu mehreren hundert Grad Celsius und sind weitgehend unempfindlich gegenüber Temperaturwechselbeanspruchungen.

B-B-5 Andere Beschichtung

In der industriellen Praxis wird neben den in den ersten vier Klassen beschriebenen Beschichtungssystemen noch eine Vielzahl weiterer eingesetzt. Beispiele für die vielfältigen Möglichkeiten sind das Feuerverzinken durch Eintauchen in Zinkschmelzen, das Phosphatieren in heißen Lösungen, das Aufbringen von keramischen Schichten mittels Plasmaspritzverfahren oder das Emailieren durch Einbrennen im Brennofen. Alle derartigen Beschichtungen werden zum Korrosions- oder Verschleißschutz aufgebracht, ertragen problemlos Temperaturen bis zu einigen hundert Grad Celsius und werden von Lösemitteln in der Regel nicht angegriffen. Sie können im Hinblick auf ihr Verhalten bei der Reinigung in einer Klasse zusammengefasst werden.

4.2.5 Spezialfälle

Abgesehen von der Größe und dem Gewicht der zu reinigenden Bauteile können auch bestimmte gestalterische Besonderheiten zu Einschränkungen hinsichtlich der einsetzbaren Wirkprinzipien führen. In das Anforderungsprofil werden diejenigen Spezialfälle aufgenommen, die hinsichtlich der Reinigungseigenschaften der Bauteile von Relevanz sind (siehe **Bild 4.7**).

Klasse	Spezialfälle
B-S-1	Schöpfende Bauteile
B-S-2	Nur lokal verschmutzte Bauteile
B-S-3	Bauteile mit engen Spalten
B-S-4	Gesinterte bzw. aus Pulver gepresste Bauteile
B-S-5	Handhabung der Bauteile als Schüttgut
B-S-6	Druckempfindliche Bauteile
B-S-7	Bauteile mit empfindlichen Oberflächen

Bild 4.7 Anforderungskategorie: Spezialfälle

B-S-1 Schöpfende Bauteile

Ein Bauteil wird als schöpfend bezeichnet, wenn größere teilweise umschlossene Hohlräume existieren, in denen Reinigungsflüssigkeit von einer Reinigungsstufe in die nächste verschleppt werden kann. Typische Beispiele für schöpfende Bauteile sind Näpfe, Gehäuse oder Kästen. Schöpfende Bauteile müssen bei der Reinigung so orientiert werden, dass das Reinigungsmittel ungehindert abfließen kann (vgl. **Bild 4.8**).

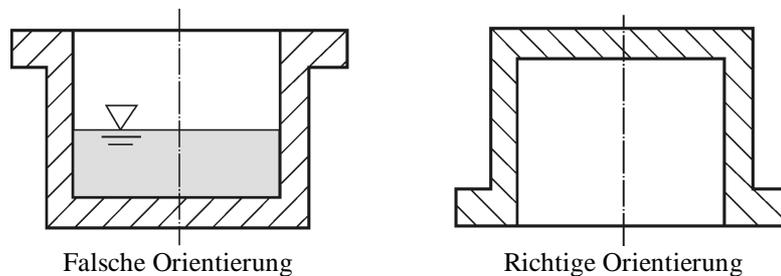


Bild 4.8 Spezialfall 1: Schöpfende Bauteile

B-S-2 Nur lokal verschmutzte Bauteile

Liegen Verschmutzungen nur lokal vor, ist es meist sinnvoll, ein Reinigungsverfahren zu wählen, durch das die verschmutzten Stellen gezielt gereinigt werden können (z. B. durch Anlege- oder Anfahrdüsen bei der Spritzreinigung). Verfahren, die nur eine gleichmäßige Reinigung der gesamten Oberfläche erlauben, wie z. B. die Tauchreinigung, können ebenfalls eingesetzt werden, sind aber meist weniger effizient. **Bild 4.9** zeigt ein Beispiel für ein nur lokal verschmutztes Bauteil. Es handelt sich um ein Gussteil, in welches im letzten Arbeitsschritt ein Sackloch mit Gewinde gespant wurde. Die Verschmutzung des Bauteils durch Späne und Kühlschmierstoff beschränkt sich auf den lokalen Bereich des Gewindelochs.

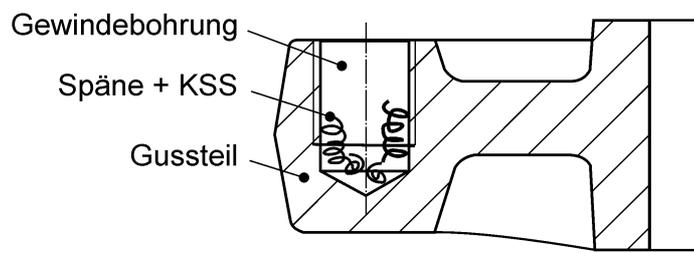


Bild 4.9 Spezialfall 2: Nur lokal verschmutzte Bauteile

B-S-3 Bauteile mit engen Spalten

Enge Spalte oder Löcher mit Durchmessern von weniger als einem Millimeter sind bei der Reinigung problematisch, da flüssige Verunreinigungen durch Kapillarkräfte in die Spalte gezogen werden und Reinigungsflüssigkeiten nur schwer in die schmutzgefüllte Spalte eindringen. Sollen enge Spalte effektiv gereinigt werden, müssen Reinigungsflüssigkeiten mit geringer Viskosität und Oberflächenspannung eingesetzt werden, oder die Verunreinigungen müssen durch mechanische oder thermische Einwirkung aus den Spalten getrieben werden. **Bild 4.10** zeigt eine montierte Baugruppe, welche sowohl über einen engen Spalt, als auch eine Bohrung mit kleinem Durchmesser verfügt.

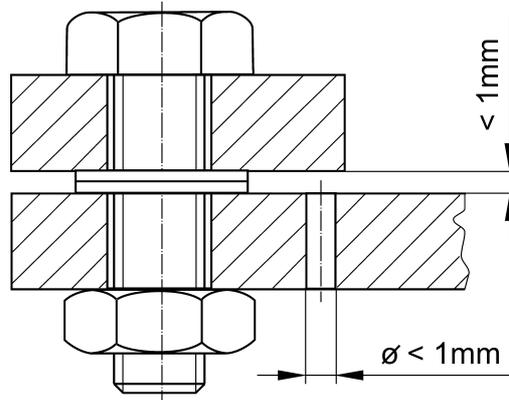


Bild 4.10 Spezialfall 3: Bauteile mit engen Spalten

B-S-4 Gesinterte bzw. aus Pulver gepresste Bauteile

Gesinterte oder aus Pulver gepresste Bauteile besitzen eine poröse Struktur (siehe **Bild 4.11**). Die inneren Hohlräume sind teilweise miteinander verbunden und von außen zugänglich. Haben sich Verschmutzungen in diesen kapillaren Hohlräumen festgesetzt, sind sie nur schwer zu entfernen. Lediglich Reinigungsflüssigkeiten mit sehr geringer Viskosität und Oberflächenspannung, wie z. B. überkritisches Kohlendioxid oder Gase, dringen ohne Schwierigkeiten ein.

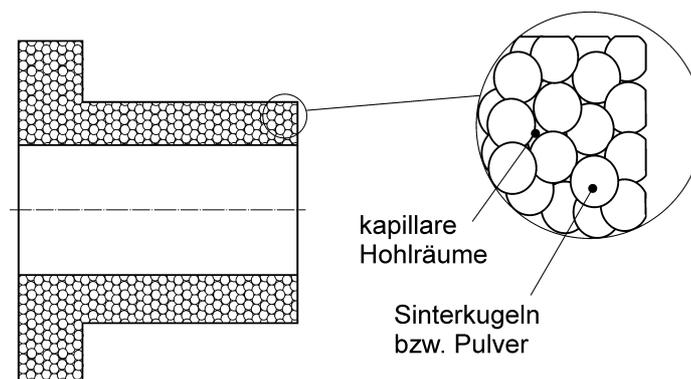
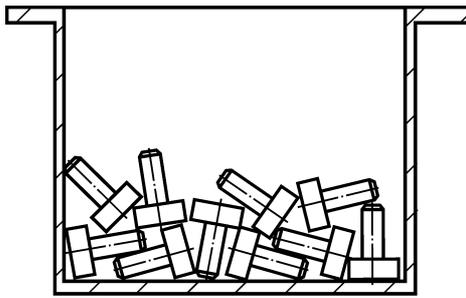


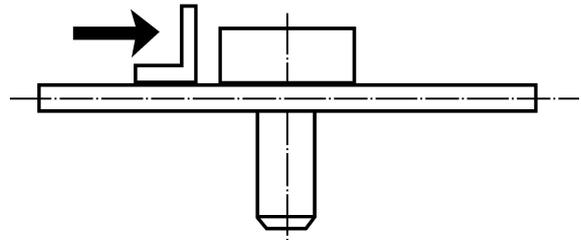
Bild 4.11 Spezialfall 4: Gesinterte bzw. aus Pulver gepresste Bauteile

B-S-5 Handhabung der Bauteile als Schüttgut

Bauteile, die in großer Stückzahl hergestellt werden und ein gewisses Eigengewicht nicht überschreiten, werden in der Regel als Schüttgut gehandhabt. Eine Einzelhandhabung erfolgt meist bei schweren Bauteilen oder Teilen, die in geringer Stückzahl gefertigt werden (vgl. **Bild 4.12**). Einige Reinigungsverfahren, wie z. B. die Trommelreinigung oder das Ausdrücken, sind ausschließlich für Schüttgüter geeignet. Andere Verfahren, wie z. B. das Abkratzen oder das Ausklopfen, erfordern hingegen eine Einzelhandhabung der Teile.



Schüttguthandhabung in Warenkorb



Einzelhandhabung

Bild 4.12 Spezialfall 5: Handhabung der Bauteile als Schüttgut

B-S-6 Druckempfindliche Bauteile

Bei einigen Reinigungsverfahren werden die Bauteile einem hohen statischen Druck ausgesetzt. Zum Beispiel erfolgt die Reinigung mit verflüssigtem CO_2 in einer Druckkammer bei einem Druck von ca. 15 MPa. Verfügen die zu reinigenden Bauteile über abgeschlossene innere Hohlräume und eine nur geringe Wandstärke, können sie bei diesem hohen Außendruck möglicherweise deformiert werden.

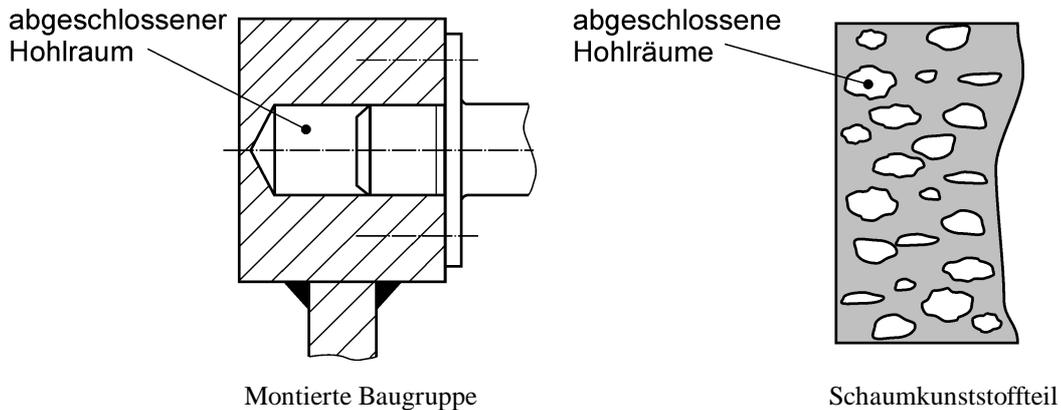


Bild 4.13 Spezialfall 6: Druckempfindliche Bauteile

B-S-7 Bauteile mit empfindlichen Oberflächen

Beim Einsatz von abrasiv wirkenden Reinigungsverfahren können empfindliche Oberflächen leicht beschädigt werden. Als empfindlich wird jede Oberfläche eingestuft, bei der es während der Reinigung zu keinerlei Werkstoffabtrag und Kratzerbildung kommen darf. Es kann sich dabei zum Beispiel um feinbearbeitete Oberflächen, wie Dichtflächen, Passungssitze oder ähnliches handeln (siehe **Bild 4.14**).

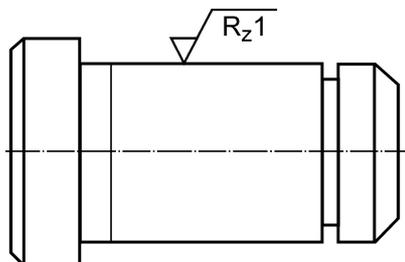


Bild 4.14 Spezialfall 7: Bauteile mit empfindlichen Oberflächen

4.2.6 Schmutzmenge

Der Verschmutzungszustand eines Bauteils wird durch die vorliegende Schmutzmenge und die Schmutzzusammensetzung charakterisiert. Um die Menge des an einem Bauteil haftenden Schmutzes zahlenmäßig zu erfassen, sind in der Regel Laboranalysen erforderlich. Um einen derartigen Aufwand in der Planungsphase zu vermeiden, wird eine Unterteilung in lediglich vier Klassen vorgenommen (siehe **Bild 4.15**). Die Abgrenzung der einzelnen Kategorien erfolgt dabei anhand einer visuellen Beurteilung der zu reinigenden Bauteile.

Klasse	Beurteilung der Schmutzmenge
V-S-1	Bauteile stehen in Öl/Schmutz
V-S-2	Bauteile sind stark verschmutzt
V-S-3	Bauteile sind leicht verschmutzt
V-S-4	Bauteile sind nach Augenschein sauber

Bild 4.15 Anforderungskategorie: Schmutzmenge

V-S-1 Bauteile stehen in Öl/Schmutz

In diese Kategorie werden all diejenigen Bauteile eingeordnet, bei denen der Schmutz eine mehrere Millimeter dicke, deutlich sichtbare Schicht auf der gesamten Bauteiloberfläche bildet bzw. bei denen das Schmutzvolumen dem Werkstoffvolumen nahe kommt. Beispiele für Verschmutzungen dieser Kategorie sind verölte Schüttgüter, verschlammte Antriebsketten, stark verrostete Blechteile, Gussteile mit anhaftendem Kernsand oder fettgefüllte Gehäuse.

V-S-2 Bauteile sind stark verschmutzt

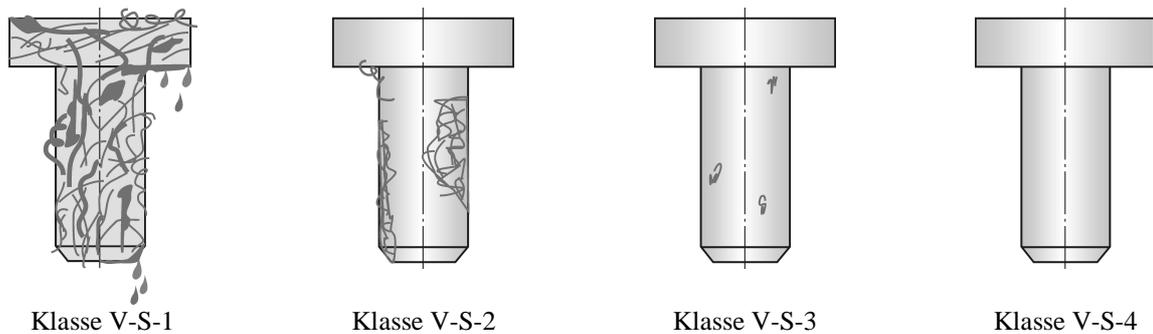
Unter stark verschmutzten Bauteilen sind Teile zu verstehen, die deutlich sichtbar verschmutzt sind, bei denen der Schmutz jedoch keine dicke Schicht bildet. Das Schmutzvolumen ist klein im Vergleich zum Bauteilvolumen. Typische Beispiele hierfür sind Dreh- oder Frästeile mit anhaftenden Kühlschmierstoffen und Spänen, längere Zeit offen gelagerte und angerostete Bauteile oder verzünderte Schmiedeteile.

V-S-3 Bauteile sind leicht verschmutzt

Leicht verschmutzte Bauteile sind Teile, bei denen die Verschmutzung noch gerade mit dem bloßen Auge zu erkennen ist. Handelt es sich um flüssige Verunreinigungen, so sind diese als ein leichter Grauschleier zu erkennen, handelt es sich um Partikelschmutz, so können entweder viele kleine Partikel oder wenige große vorliegen. Typische Beispiele für leicht verschmutzte Bauteile sind Umformteile, Stanzteile oder geschliffene Werkstücke.

V-S-4 Bauteile sind nach Augenschein sauber

In diese Klasse werden Bauteile eingeordnet, bei denen mit dem bloßen Auge keine Verschmutzung zu erkennen ist. Beispiele hierfür sind Kunststoffspritzgussteile, Elektronikkomponenten oder bereits vorgereinigte Teile. Ist mit dem Auge bereits kein Schmutz mehr erkennbar, kann mit den meisten mechanischen und thermischen Verfahren keine Verbesserung der Reinheit mehr erzielt werden. Es müssen spezielle Feinreinigungsverfahren eingesetzt werden.


Bild 4.16 Schematische Darstellung der Verschmutzungsklassen

4.2.7 Zusammensetzung der Verschmutzung

Für die Wahl eines geeigneten Reinigungsprinzips ist neben der Menge auch die Zusammensetzung des abzureinigenden Schmutzes entscheidend. Die Verschmutzung resultiert in der Regel aus den vor der Reinigung durchgeführten Fertigungsschritten. Da die genaue Zusammensetzung der dort eingesetzten Hilfsstoffe, wie Kühlschmierstoffe, Ziehmittel, Korrosionsschutzöle usw., oft nicht bekannt ist und zumeist auch unklar ist, welche der Bestandteile auf den Bauteiloberflächen verbleiben, ist eine exakte Beschreibung der Zusammensetzung der vorliegenden Verschmutzung nicht ohne aufwändige Oberflächenanalyse möglich.

Die Schmutzzusammensetzung kann jedoch anhand von vorgegebenen Gruppen zumindest grob klassifiziert werden. Zu diesem Zweck werden 22 Gruppen von Verschmutzungen gebildet, innerhalb derer die Eigenschaften bezüglich der Entfernbarkeit ähnlich sind (**Bild 4.17**). Diese 22 Gruppen beinhalten die in der industriellen Praxis am häufigsten auftretenden Schmutzarten. Bei der Beschreibung des Verschmutzungszustandes ist auch die Wahl mehrerer Klassen zulässig.

Klasse	Verschmutzungsgruppe	Klasse	Verschmutzungsgruppe
V-Z-1	Verseifbare Öle und Fette	V-Z-12	Metallspäne
V-Z-2	Nicht verseifbare Öle und Fette	V-Z-13	Schleifstaub/Strahlmittelrückstände
V-Z-3	Wassermischbare KSS	V-Z-14	Oxide/Zunder/Korrosionsprodukte
V-Z-4	Nicht wassermischbare KSS	V-Z-15	Salze/wasserlösliche Anhaftungen
V-Z-5	Korrosionsschutzöle und Fette	V-Z-16	Anbackungen/Verkrustungen
V-Z-6	Härteöle	V-Z-17	Metallseifen/eingebrennte Fette
V-Z-7	Pigmentfreie Ziehmittel	V-Z-18	Harze/Kunststoffe
V-Z-8	Pigmenthaltige Ziehmittel	V-Z-19	Magnet-/Fluoreszenzprüfpartikel
V-Z-9	Läpp-, Hohn- und Poliermittel	V-Z-20	Wasserbasierte Farben/Lacke
V-Z-10	Pigmente, Graphit, MoS ₂	V-Z-21	Nicht wasserbasierte Farben/Lacke
V-Z-11	Schweiß/Fingerabdrücke	V-Z-22	Staub aus der Umwelt

Bild 4.17 Bewertungskategorie: Zusammensetzung der Verschmutzung

4.2.8 Reinheitsanforderungen

Neben den vorliegenden Verschmutzungen ist auch der angestrebte Reinheitsgrad ein wichtiges Kriterium für die Gestaltung eines Reinigungsprozesses. Für jeden Reinigungsprozess gilt aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen: Die Reinigung sollte nicht so gut wie möglich, sondern nur so

gut wie nötig erfolgen. Die zu fordernde Mindestreinheit ist dabei durch den nachfolgenden Prozess bestimmt. Verfahren wie das Beschichten, Nitrieren, Lackieren oder Kleben stellen zum Teil sehr hohe Anforderungen an die Bauteilreinheit, wohingegen für ein nachfolgendes Schweißen, Spanen, Umformen, Lagern oder den Einbau in größere Baugruppen meist deutlich höhere Restschmutzmengen toleriert werden können.

Eine Quantifizierung der zu fordernden Oberflächenreinheit in Abhängigkeit vom Folgeprozess ist trotz intensiver Bemühungen seitens universitärer Forschungsstätten und Unternehmen aus dem Bereich der Oberflächentechnik bis heute nicht gelungen. Die Reinheitsanforderungen werden daher bei kritischen Anwendungen zumeist durch den erfolgreichen Ablauf des nachfolgenden Prozesses definiert. Zum Beispiel kann eine für das Lackieren eines Bauteils ausreichende Oberflächenreinheit durch einen Abschältest überprüft werden. Der Widerstand der Lackschicht gegen Abschälen ist dabei ein indirektes Maß für die Reinheit der Oberfläche vor dem Lackieren.

Für weniger kritische Einsatzfälle können verschiedenartige Schnelltestverfahren eingesetzt werden, die zumeist mit geringem Aufwand direkt vor Ort in der Produktion durchgeführt werden können. Als Hilfsmittel für den Konstrukteur wird eine tabellarische Übersicht der in der Praxis üblichen Schnelltests erarbeitet. Diese Auswahltablette enthält neben einer Kurzbeschreibung des jeweiligen Testverfahrens eine Beurteilung des mit dem Test verbundenen Aufwandes, der Testdauer und der zu erwartenden Kosten (**Bild 4.18**).

Neben diesen Schnelltestverfahren existiert mittlerweile auch eine Vielzahl von Mess- und Analyseverfahren, mit denen der Nachweis und die Quantifizierung geringster Schmutzmengen möglich ist. Derartige Verfahren sind jedoch meist sehr aufwändig und können zum Teil nur von geschultem Personal im Prüflabor durchgeführt werden. In der industriellen Praxis werden sie aus diesen Gründen nicht routinemäßig angewendet. **Bild 4.19** enthält eine tabellarische Übersicht der wichtigsten Mess- und Analyseverfahren zur Ermittlung der Bauteilreinheit. Auch hierbei werden der Aufwand, die Dauer und die mit dem jeweiligen Verfahren verbundenen Kosten beurteilt. Die Tabelle soll dem Konstrukteur als Hilfe bei der Wahl geeigneter Testverfahren dienen, falls deren Einsatz unumgänglich ist.

Schnelltests für sichtbaren Schmutz				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Visuelle Prüfung	Die Prüffläche wird mit dem bloßen Auge oder unter dem Mikroskop subjektiv beurteilt (meist verwendeter Test in der industriellen Praxis).	gering	gering	gering
Schnelltests für Fette und Öle				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Wasserablaufprobe	Die Prüffläche wird mit destilliertem Wasser abgespült. Reißt der Wasserfilm danach 1 min lang nicht auf, ist die Fläche fettfrei.	gering	gering	gering
Sprühnebeltest	Die Prüffläche wird mit destilliertem Wasser besprüht. Fließen die Tröpfchen nach einiger Zeit zusammen, ist die Fläche fettfrei.	gering	gering	gering
Nigrosintest	Die Prüffläche wird mit wässriger Nigrosin-Farb-Lösung benetzt. Bilden sich beim Eintrocknen keine Flecken, ist die Fläche fettfrei.	gering	hoch	gering
Fettrotprüfung	Auf der Prüffläche wird ein Tropfen einer Lösung von Fettrot in Ethanol eingetrocknet. Der Tropfen läuft bei fettfreier Oberfläche auseinander, bei fettiger trocknet er in nahezu derselben Größe ein.	gering	hoch	gering
Kontaktwinkelmessung	Auf die Prüffläche wird ein Tropfen mit bekannter Oberflächenspannung gebracht. Der Kontaktwinkel zwischen Tropfen und Fläche wird unter dem Mikroskop gemessen und ist ein Maß für den Fettbelag.	mittel	mittel	mittel
Testtinten	Testtinten sind Lösungen mit definierter Oberflächenspannung. Durch Benetzungsversuche mit unterschiedlichen Testtinten kann die Grenzflächenspannung der Prüffläche iterativ angenähert werden.	mittel	mittel	gering
UV-Test	Viele Mineralölprodukte enthalten Stoffe, die unter UV-Licht fluoreszieren. Auf diese Weise können auch kleinste Schmutzmengen sichtbar gemacht werden. Eine Quantifizierung ist jedoch kaum möglich.	gering	gering	gering
Schnelltests für Partikelschmutz				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Wischttest	Die Prüffläche wird mit einem trockenen weißen Tuch abgewischt. Die Verfärbung des Tuchs dient als Maß für den Partikelschmutz.	gering	gering	gering
Klebestreifentest	Ein Klebestreifen wird auf die Prüffläche geklebt, abgezogen und anschließend auf ein weißes Papier geklebt. Die anhaftenden Schmutzpartikel werden unter einem Mikroskop ausgezählt.	gering	mittel	mittel
Ablöseverfahren	Die Prüffläche wird mit einem Lösemittel vollständig abgereinigt. Die Lösung wird anschließend ausgefiltert. Unter einem Mikroskop werden die im Filter verbleibenden Partikel gezählt.	mittel	mittel	mittel
Nachweis von Passivschichten				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Kupfersulfat-Test	Eintauchen eines Stahlteils in eine saure Kupfersulfatlösung führt zur Bildung eines Cu-Überzugs, der an passiven Stellen unterbrochen ist.	mittel	gering	gering
Berliner-Blau-Test	Beim Eintauchen eines Stahlteils in eine leitfähige Indikatorlösung geht an aktiven Stellen Fe^{2+} in Lösung. Diese Ionen reagieren mit dem Indikator $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ zu einem intensiv blau gefärbten Komplex.	mittel	gering	gering

Bild 4.18 Auswahltabelle: Schnelltestverfahren für die Oberflächenreinheit

Quantitative Messverfahren				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Wägemethoden	Die Gewichts­differenz vor und nach der Reinigung wird gemessen. Alternativ kann der Schmutz durch ein Lösemittel abgelöst und nach Verdampfen des Lösemittels ausgewogen werden.	mittel	gering	mittel
Optical Particle Counter	Der Schmutz wird mit einem Lösemittel abgelöst. Die Lösung fließt durch eine Messzelle, in der gelöste Partikel mit Hilfe eines im Durchlicht betriebenen Photosensors ausgezählt werden.	mittel	mittel	hoch
Kohlenstoff-Bestimmung durch Oxidation	Organischer Schmutz wird bei hoher Temperatur zersetzt. Der Kohlenstoffgehalt der Abgase wird in einer Leitfähigkeitsmesszelle ermittelt und ist ein Maß für die Ausgangsschmutzmenge.	mittel	mittel	mittel
Schnelle Analyse des Oberflächenzustandes				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Optical stimulated electron emission (OSEE)	Die Prüffläche wird mit UV-Licht bestrahlt. Das von der Oberfläche emittierte Licht wird in einen äquivalenten Strom umgesetzt. Verunreinigungen senken diesen Strom meist proportional ab.	mittel	gering	mittel
Anodische Polarisationsmessung	Zwischen Prüffläche und Gegenelektrode wird ein Elektrolyttropfen gebracht und ein Strom aufgeschaltet. Der Zeitverlauf von Strom und Spannung lässt Rückschlüsse auf den Schmutzbelag zu.	mittel	gering	mittel
Instrumentelle Oberflächenanalytik				
Verfahren	Prinzip	Aufwand	Dauer	Kosten
Infrarot Spektroskopie (IR, FTIR-RA usw.)	Auf Grundlage der sich im Infrarotlicht bildenden Absorptionsspektren ist eine hochgenaue qualitative und quantitative Bestimmung der Belegung einer Oberfläche möglich.	hoch	mittel	hoch
Ablöseverfahren nach DIN 38409	Ablösen des Schmutzes mit einem wasserstofffreien Lösemittel und IR-Spektroskopische-Analyse des Lösemittels liefert Informationen über Menge und Zusammensetzung der Verschmutzung.	hoch	hoch	hoch
Glimmentladungsspektroskopie (GDOS)	Durch Glimmentladungsbeschuss und Aufnahme des Emissionsspektrums wird ein Tiefenprofil der Zusammensetzung der Probe erzeugt. Anwendbar nur bei Schichtdicken größer einigen μm .	hoch	mittel	hoch
Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	Durch Röntgenbeschuss und Aufnahme des Emissionsspektrums wird ein Tiefenprofil der Zusammensetzung der Probe erzeugt. Anwendbar nur bei Schichtdicken größer einigen μm .	hoch	mittel	hoch
Massenspektrometrie (MS)	Die Verschmutzungen werden in einem Lösemittel gelöst, verdampft und ionisiert. Ein Massenspektrometer ermittelt die exakte Zusammensetzung anhand der Ablenkung der Ionen im E-Feld.	hoch	mittel	hoch
Elektronenspektroskopie (AES, SIMS, XPS usw.)	Mit diesen Verfahren können Verschmutzungen bezüglich ihrer Zusammensetzung und Menge analysiert werden. Dabei ist jedoch ein hoher anlagentechnischer und interpretativer Aufwand nötig.	hoch	hoch	hoch
Atomare Kraftmikroskopie (AFM)	Durch das Auslenken einer feinen Tastspitze durch atomare Anziehungskräfte ist die Darstellung von Werkstücktopographien bis in den atomaren Bereich möglich.	hoch	mittel	hoch
Elektronenmikroskopie (REM)	Dünnste Schmutzschichten, bis in den nm-Bereich, können durch Elektronenmikroskopie sichtbar gemacht werden.	hoch	hoch	hoch

Bild 4.19 Auswahltabelle: Mess- und Analyseverfahren für die Oberflächenreinheit

Um die Reinheitsanforderungen auch ohne den Einsatz von zum Teil sehr aufwändigen Testverfahren beschreiben zu können, werden vier Reinheitsklassen definiert, welche eine schnelle Einordnung der Reinigungsaufgabe ermöglichen (siehe **Bild 4.20**). Bei der Klassifizierung muss der Anwender sich an gegebenen Einsatzbeispielen orientieren. Durch die Zuordnung der Reinigungsaufgabe zu einer der vier Klassen wird eine Vorbewertung der unterschiedlichen Reinigungsprinzipien möglich. Eine darüber hinausgehende Beurteilung kann in der Regel nur nach Reinigungsversuchen erfolgen.

Klasse	Reinheitsanforderungen
R-R-1	Grobreinigung
R-R-2	Reinigung
R-R-3	Feinreinigung
R-R-4	Feinstreinigung

Bild 4.20 Bewertungskategorie: Angestrebter Reinheitsgrad

R-R-1 Grobreinigung

In diese Klasse fallen eher einfache Reinigungsaufgaben, bei denen die vorhandene Schmutzmenge lediglich verringert werden soll. Eine sichtbare Restbeschmutzung ist erlaubt. Typische Beispiele hierfür sind das Reinigen von Fassaden, Böden, Werkzeugen, Förderanlagen, Transportbehältern oder Maschinen für den weiteren Einsatz, das grobe Entrostern von Stahlkonstruktionen oder Blechteilen sowie das Putzen von Gussstücken.

R-R-2 Reinigung

In diese Klasse sind all diejenigen Reinigungsaufgaben einzuordnen, bei denen eine augenscheinliche Reinheit gefordert ist; d. h. bei der Betrachtung mit dem bloßen Auge dürfen keine Verschmutzungen mehr zu erkennen sein. Der Folgeprozess stellt keine darüber hinausgehenden Anforderungen an die Oberflächenreinheit. Beispiele für derartige Reinigungsaufgaben sind die Vorbereitung für eine weitere Bearbeitung, den Einbau, den Verkauf oder die Lagerung sowie die Reinigung aus ästhetischen Gründen oder für Dekorationszwecke. Diese Klasse stellt darüber hinaus den allgemeinen Fall dar, der gewählt werden sollte, wenn keine Informationen über den geplanten Folgeprozess vorliegen.

R-R-3 Feinreinigung

Eine Feinreinigung dient als Vorbereitung für Folgeprozesse, welche erhebliche Anforderungen an die Oberflächenreinheit stellen. Dabei müssen in der Regel auch Verschmutzungen entfernt werden, die mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennbar sind. Typische Beispiele sind die Vorbereitung für das Lackieren, Phosphatieren oder Verkleben, die Reinigung von optischen Gläsern, Dichtungen, Turbinen- und Triebwerksteilen sowie die Reinigung von Teilen, die in Sauerstoffatmosphären eingesetzt werden und daher hohe Anforderungen an die Fettfreiheit stellen.

R-R-4 Feinstreinigung

Folgeprozesse mit höchsten Anforderungen an die Oberflächenreinheit erfordern eine Feinstreinigung. Dabei werden, zum Teil mit erheblichem Aufwand, nahezu verunreinigungsfreie Oberflächen erzeugt. Die Haupteinsatzfelder der Feinstreinigung sind die Halbleiter- und Elektronikkomponentenfertigung, die Reinigung vor galvanischer Beschichtung, die Reinigung für den Einsatz in Reinräumen, die Reinigung optischer Präzisionsteile oder die Reinigung chirurgischer Instrumente und Implantate.

4.2.9 Maximale Investitionskosten der Anlage

Die maximale Summe, die der Anwender für eine Reinigungsanlage zu investieren bereit ist, schränkt die Verwendung einiger Reinigungsverfahren ein. Insbesondere die erst in den letzten Jahren zur Praxisreife gebrachten Alternativverfahren, wie das CO₂-Pellet-Strahlen, die Reinigung mit überkritischem Kohlendioxid oder die Laserstrahlreinigung, erfordern hohe Investitionssummen. Neben dem verwendeten Reinigungsverfahren bestimmt eine Vielzahl weiterer Faktoren die Anlagenkosten. Zu diesen Einflussgrößen gehören die Anlagengröße, die Zuführung und Handhabung der zu reinigenden Teile, der Automatisierungsgrad, die Zusatzeinrichtungen zur Badaufbereitung, die Trocknung usw.

Zur Vereinfachung werden lediglich sechs Klassen gebildet, welche eine grobe Zuordnung der realisierbaren Reinigungsprinzipien erlauben (siehe **Bild 4.21**).

Klasse	Max. Investitionskosten
A-I-1	bis 500 Euro
A-I-2	bis 5000 Euro
A-I-3	bis 25000 Euro
A-I-4	bis 50000 Euro
A-I-5	bis 250000 Euro
A-I-6	über 250000 Euro

Bild 4.21 Bewertungskategorie: Maximale Investitionskosten der Anlage

4.2.10 Durchsatz der Anlage

Der Teiledurchsatz ist eine weitere wichtige Einflussgröße bei der Konstruktion einer Reinigungsanlage. Sowohl die Art der Zuführung und Handhabung der Bauteile als auch der Grad der Automatisierung der Anlage hängen in hohem Maße von ihm ab. Er hat hingegen einen nur geringen Einfluss auf die Wahl des einzusetzenden Reinigungsprinzips, da jedes Wirkprinzip bei entsprechender Anlagenauslegung und Investitionssumme für nahezu beliebige Durchsatzmengen geeignet ist. Der Anlagendurchsatz wird in Kilogramm pro Stunde gemessen und in die folgenden sechs Klassen unterteilt (**Bild 4.22**).

Klasse	Durchsatz der Anlage
A-D-1	bis 1 kg/h
A-D-2	bis 10 kg/h
A-D-3	bis 100 kg/h
A-D-4	bis 1000 kg/h
A-D-5	bis 10000 kg/h
A-D-6	über 10000 kg/h

Bild 4.22 Bewertungskategorie: Durchsatz der Anlage

5 Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen"

Bei der Konstruktion einer Reinigungsanlage stellt die Erstellung einer lösungsneutral formulierten Anforderungsliste den Abschluss der Planungsphase dar. Ausgehend von dieser Anforderungsliste wird in der nachfolgenden Konzeptphase eine prinzipielle Lösung erarbeitet. Dabei stellt die Realisierung der Teilfunktion "Reinigen" ein zentrales Problem dar. Um zu optimalen Lösungen zu gelangen, müssen zunächst alle möglichen Wirkprinzipien der Reinigung berücksichtigt werden. Erst nach einer Vorbewertung im Hinblick auf den konkreten Anwendungsfall können ungeeignete Varianten ausgeschlossen werden. Der Konstrukteur steht somit vor der Aufgabe, sich einen Überblick über sämtliche, dem Stand der Technik entsprechenden Wirkprinzipien der Reinigung zu verschaffen. Bislang erfordert dies aufwändige Recherchen in oftmals schlecht strukturierten Quellen (vgl. Kapitel 2, Stand der Technik).

Um dem Konstrukteur zukünftig ein Hilfsmittel für die Konzeptfindung an die Hand zu geben, soll ein Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen" entwickelt werden. Der Einsatz eines derartigen Ordnungsschemas hilft, schnell und ohne aufwändige Recherchen einen Überblick über die Möglichkeiten der industriellen Bauteilreinigung zu gewinnen und zu tragfähigen Wirkstrukturen zu gelangen. An das zu erarbeitende Ordnungsschema für die Teilfunktion "Reinigen" werden die folgenden Anforderungen gestellt:

- Klare Definition und Abgrenzung der Varianten
- Systematische Gliederung nach dem Wirkprinzip
- Repräsentation des Standes der Technik
- Erweiterungsfähigkeit (Eingliederung von Neuentwicklungen möglich)
- Schneller Zugriff auf die Informationen
- Bequeme Handhabung

5.1 Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde eine umfangreiche Recherche in deutsch- und englischsprachigen Quellen zum Themengebiet der industriellen Bauteilreinigung durchgeführt. Bei der Recherche wurden sowohl Fachbücher, Fachzeitschriften, Forschungsberichte, Tagungsbände, Patente, Normen und Standards als auch über das Internet zugängliche Veröffentlichungen und Firmenpräsentationen berücksichtigt. Nachdem ein weitgehend vollständiger Überblick über den Stand der Technik vorlag, wurden die gesammelten Fachinformationen im Hinblick auf eine Abgrenzung der unterschiedlichen Wirkprinzipien bei der Reinigung ausgewertet.

Auf Grundlage der Recherche können 43 Reinigungsverfahren mit grundlegend unterschiedlichem physikalischen oder chemischen Wirkprinzip voneinander abgegrenzt werden. Verfahrensvarianten, die sich in den Wirkprinzipien nicht oder nur geringfügig unterscheiden, werden dabei zusammengefasst.

Neben den Reinigungsverfahren haben auch die verwendeten Reinigungsmittel einen entscheidenden Einfluss auf das Reinigungsergebnis. Unter Reinigungsmitteln können allgemein alle zur Reinigung eingesetzten Stoffe verstanden werden. Dies umfasst neben den in den meisten Fällen verwendeten Reinigungsflüssigkeiten auch Abrasivpartikel, fluidisierte Feststoffe, Schleifkörper, Gase, Dispersionen, überkritische Fluide, Plasmen, Eis, Schnee und Mikroorganismen. Die mit den einzelnen Stoffen erzielte Reinigungswirkung ist in vielen Fällen nicht von dem Wirkprinzip des Reinigungsverfahrens zu trennen, und der Einsatz einiger Reinigungsmittel ist zudem auf

bestimmte Reinigungsverfahren beschränkt. Lediglich bei Verfahren, bei denen das Lösen oder Emulgieren der Verschmutzungen in Fluiden das Hauptwirkprinzip darstellt, kann der zu verwendende Reiniger weitgehend unabhängig von dem Reinigungsverfahren gewählt werden.

Für die Schaffung des Ordnungsschemas wird daher folgendes Vorgehen gewählt:

Zunächst erfolgt eine Gliederung der Reinigungsverfahren nach dem Wirkprinzip. Die Verwendung spezifischer Reinigungsmittel wird dabei als integraler Bestandteil des jeweiligen Reinigungsverfahrens betrachtet.

Zusätzlich wird ein Ordnungsschema der Reinigungsflüssigkeiten erarbeitet. Als Gliederungskriterium dient dabei die Polarität der Reiniger, welche maßgeblich für das Löseverhalten verantwortlich ist. Bei Reinigungsverfahren, deren Hauptwirkprinzip in dem Lösen oder Emulgieren von Verschmutzungen besteht, kann der Ordnungsnummer des Verfahrens die Ordnungsnummer des Reinigers zur genaueren Spezifikation angehängt werden.

5.2 Ordnungsschema der Reinigungsverfahren

5.2.1 Gliederung der Reinigungsverfahren

Als Gliederungskriterium für das Ordnungsschema der Reinigungsverfahren soll das Wirkprinzip herangezogen werden. Zunächst können fünf Hauptwirkprinzipien unterschieden werden:

- Entropisch
- Strömungsmechanisch
- Mechanisch
- Thermisch
- Chemisch

Eine weitere Unterteilung dieser fünf Gruppen kann nach der Art der Unterstützung erfolgen. Zur Unterstützung der Hauptreinigungswirkung werden die unterschiedlichsten Prinzipien eingesetzt. Bei der Ultraschallreinigung wird zum Beispiel eine Unterstützung des Emulgierens von Verschmutzungen durch Kavitationswirkung erzielt. Bei der biologischen Reinigung wird unterstützend ein Abbau von Verschmutzungen durch Mikroorganismen eingesetzt. Bei einigen Reinigungsverfahren, wie zum Beispiel dem Absaugen oder dem Schleudern, wirkt hingegen kein unterstützendes Wirkprinzip. Die fünf Hauptgruppen sowie die dabei gegebenen Möglichkeiten der Unterstützung werden im Folgenden kurz erläutert:

Entropische Verfahren

Unter den entropischen Verfahren können alle Reinigungsverfahren eingeordnet werden, bei denen das vorherrschende Wirkprinzip eine Kombination aus dem Lösen löslicher Verschmutzungen und dem Emulgieren bzw. Dispergieren nicht löslicher Verschmutzungen durch ein Reinigungsfluid ist. Unterstützend können hierbei Wärme, Badbewegung, Reibung an Festkörpern, Impulsübertragung und Turbulenz, biologischer Abbau von Verschmutzungen, Kavitation oder Elektrolyse eingesetzt werden.

Strömungsmechanische Verfahren

Bei den strömungsmechanischen Verfahren wird ein gasförmiges, flüssiges oder festes Strahlmittel mit hoher Geschwindigkeit auf die zu reinigende Oberfläche gestrahlt. Das Hauptwirkprinzip der Reinigung ist dabei das Ablösen von Verunreinigungen durch Impulsübertragung. Zur Unterstützung werden bei einigen dieser Verfahren abrasiv wirkende Hartstoffpartikel in den Strahl eingebracht. Wird ein flüssiges Reinigungsmedium auf die Bauteiloberfläche gestrahlt, können Verschmutzungen oftmals auch gelöst oder emulgiert werden. Werden gefrorene Partikel, z. B. CO₂-Pellets oder CO₂-Schnee, zum Strahlen verwendet, wird die strömungsmechanische Wirkung durch Thermoschockwirkung unterstützt. Beim Absaugen und Abblasen erfolgt keine Unterstützung. Die Haftkräfte zwischen den Schmutzpartikeln und der Bauteiloberfläche werden allein durch den Strömungswiderstand der Partikel in dem Luftstrahl überwunden.

Mechanische Verfahren

Verfahrensmerkmal aller mechanischen Reinigungsverfahren ist das Entfernen der Verunreinigungen durch Einwirkung mechanischer Kräfte. Bei dem Abwischen, dem Bürsten/Fegen, dem Abkratzen/Abschaben, dem Reinigungsschleifen und dem Ausklopfen werden zum Aufbringen der Kräfte feste Reinigungswerkzeuge eingesetzt. Bei dem Schleudern wirken Fliehkräfte, bei der Vibrationsreinigung Trägheitskräfte und bei dem Ausdrücken Druckkräfte auf die Verschmutzungen ein. Beim Gleitschleifen entstehen die erforderlichen mechanischen Kräfte durch die Reibung der Bauteile an Schleifkörpern oder aneinander. Mit Ausnahme des Gleitschleifens, bei dem in der Regel eine Reinigungsflüssigkeit zum Emulgieren bzw. Dispergieren der abgeschliffenen Verschmutzungen eingesetzt wird, ist bei den mechanischen Verfahren keine Unterstützung vorgesehen.

Thermische Verfahren

Bei den thermischen Verfahren werden die Verunreinigungen derartig hohen Temperaturen ausgesetzt, dass diese thermisch zersetzt werden oder verdampfen. Der Einsatz einer reaktiven Atmosphäre unterstützt ein thermisches Zersetzen. Zur Unterstützung des Verdampfens kann ein Unterdruck angelegt werden. Bei einigen Verfahren, wie z. B. der Wirbelbettreinigung, wird mechanische Abrasion zur Unterstützung eingesetzt. Bei der Laserstrahlreinigung bildet sich eine verfahrenstypische Plasmaschockwelle, und bei der Blitzlampenreinigung unterstützt ein schneller Temperaturwechsel das Abplatzen von Beschichtungen.

Chemische Verfahren

Das Wirkprinzip der chemischen Verfahren ist die chemische Umwandlung der Verunreinigungen in gasförmige Stoffe, welche abgesaugt werden können. In Abgrenzung zu den thermischen Verfahren, bei denen es ebenfalls zu chemischen Umwandlungen, wie Oxidation oder Reduktion, kommt, erfolgt die Umwandlung bei den chemischen Verfahren bei Raumtemperatur oder nur leicht erhöhter Temperatur. Vertreter dieser Verfahrensgruppe sind die Plasmareinigung und die UV-Licht-Reinigung, bei denen keine zusätzliche Unterstützung erforderlich ist.

Die Gliederung der 43 voneinander abgegrenzten Reinigungsverfahren erfolgt zunächst in die vorgenannten fünf Hauptgruppen, welche, der Art der eingesetzten Unterstützung entsprechend, weiter unterteilt werden. Jede Untergruppe kann mit mehreren Reinigungsverfahren besetzt sein. Bislang nicht realisierte Wirkprinzipien werden zunächst nicht aufgenommen, können jedoch später ergänzt werden. Das auf diese Weise erarbeitete Ordnungsschema der Reinigungsverfahren ist in **Bild 5.1** dargestellt.

	Wirkprinzip	Unterstützung durch	Reinigungsverfahren	Nr.
Entropisch	Lösen bzw. Emulgieren in Flüssigkeiten	Wärme	Abkochen	1.1.1
			Dampfentfetten	1.1.2
		Badbewegung	Tauchreinigung	1.2.1
			Flüssig-CO ₂ -Reinigung	1.2.2
		Reibung	Bürstreinigung	1.3.1
			Wischreinigung	1.3.2
			Trommelreinigung	1.3.3
		Impulsübertragung und Turbulenzen	Spritzreinigung	1.4.1
			Druckumfluten	1.4.2
			Powerwasher	1.4.3
			Überkritisch-CO ₂ -Reinigung	1.4.4
		Biologischen Abbau	Biologische Reinigung	1.5.1
		Kavitationswirkung	Ultraschallreinigung	1.6.1
Elektrolyse	Elektrochemische Reinigung	1.7.1		
Strömungsmechanisch	Impulsübertragung durch Reinigungsmittel	Keine Unterstützung	Abblasen	2.0.1
			Absaugen	2.0.2
		Abrasion	Druckluftstrahlen	2.1.1
			Schleuderstrahlen	2.1.2
			Feuchtstrahlen	2.1.3
		Abrasion und Lösen/Emulgieren	Nassdruckluftstrahlen	2.2.1
			Schlammstrahlen	2.2.2
		Lösen/Emulgieren	Druckflüssigkeitsstrahlen	2.3.1
			Dampfstrahlen	2.3.2
		Thermoschockwirkung	CO ₂ -Pellet-Strahlen	2.4.1
			CO ₂ -Schnee-Strahlen	2.4.2
Mechanisch	Mechanischer Abtrag, der nicht durch Reinigungsmittel verursacht wird	Keine Unterstützung	Abwischen	3.0.1
			Bürsten/Fegen	3.0.2
			Abkratzen/Abschaben	3.0.3
			Reinigungsschleifen	3.0.4
			Ausklopfen	3.0.5
			Schleudern	3.0.6
			Vibrationsreinigung	3.0.7
			Ausdrücken	3.0.8
		Emulgieren/Dispergieren	Gleitschleifen	3.1.1
		Thermisch/Chemisch	Thermisches Zersetzen oder Verdampfen	Abrasion
Flammstrahlen	4.1.2			
Reaktives Medium	Ofenreinigung			4.2.1
	Salzbadreinigung			4.2.2
Unterdruck	Vakuumentölen			4.3.1
Plasmaschockwelle	Laserstrahlreinigung			4.4.1
Thermoschockwirkung	Blitzlampenreinigung		4.5.1	
Chemisches Umwandeln	Keine Unterstützung		UV-Licht-Reinigung	5.0.1
			Plasmareinigung	5.0.2

Bild 5.1 Ordnungsschema der Reinigungsverfahren

5.2.2 Aufbau der Ordnungsnummer

Zur eindeutigen Kennzeichnung jedes Reinigungsverfahrens wird eine aus drei Ziffern bestehende Ordnungsnummer eingeführt. Die einzelnen Ziffern werden jeweils durch einen Punkt voneinander getrennt, um bei Bedarf auch eine Erweiterung auf mehrstellige Zahlen zu ermöglichen. Die erste Ziffer der Ordnungsnummer gibt das Hauptwirkprinzip an. Die zweite Ziffer bezeichnet das unterstützende Wirkprinzip. Ist keine Unterstützung der Hauptwirkung vorhanden, wird an der zweiten Stelle der Ordnungsnummer eine 0 geführt. Die dritte Ziffer nummeriert die Verfahren in der jeweiligen Untergruppe durch (siehe **Bild 5.2**).

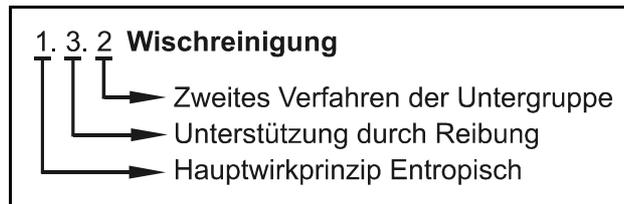


Bild 5.2 Aufbau der Ordnungsnummer für Reinigungsverfahren

5.2.3 Verfahrensbeschreibungen

Bild 5.1 gibt dem Konstrukteur eine vollständige Übersicht der nach dem derzeitigen Stand der Technik einsetzbaren Wirkprinzipien für die Teilfunktion "Reinigen". In dem Ordnungsschema sind die Reinigungsverfahren nur stichwortartig aufgeführt. Eine genauere Erläuterung und Abgrenzung der Reinigungsverfahren soll auf beschreibenden Seiten erfolgen, auf die über die jeweilige Ordnungsnummer zugegriffen werden kann.

Bei der Erarbeitung dieser Verfahrensbeschreibungen wird auf eine leicht verständliche und kompakte Darstellung sowohl der Wirkprinzipien als auch der Hintergründe, Einsatzgebiete und Randbedingungen geachtet. Wo dies möglich ist, werden zudem Durchführungshinweise, Prozesskenndaten und Hinweise zur Anlagengestaltung aufgenommen. Um eine gezielte, vertiefende Recherche zu einzelnen Reinigungsverfahren zu ermöglichen, wird zu jedem Verfahren eine Referenzliste erstellt.

Die beschreibenden Seiten stellen den durch sorgfältige Recherche in den Jahren 2001 bis 2003 ermittelten Stand der Technik in der industriellen Bauteilreinigung dar. Die kompakte und aussagefähige Darstellung der Einzelverfahren ermöglicht einen schnellen und gezielten Zugriff auf alle erforderlichen Fachinformationen. Die bislang erforderlichen zeitraubenden Recherchen in weitgehend unstrukturierten Quellen können somit entfallen.

Ordnungsnummer 1.1.1 Abkochen

In einem beheizbaren Reinigungsbehälter wird ein Reinigungsmittel, meist ein aliphatischer Kohlenwasserstoff oder ein Chlorkohlenwasserstoff, seltener ein Neutralreiniger oder alkalischer Reiniger, zum Kochen gebracht. Die zu reinigenden Bauteile werden einzeln oder in Warenkörben in die siedende Flüssigkeit gehängt. Durch die hohe Badtemperatur können Fette und Wachse, die bei Raumtemperatur im festen Zustand vorliegen, zum Verlaufen gebracht und das Lösevermögen des Reinigers erhöht werden. Die Blasenbildung während des Siedens sorgt für eine ständige Bewegung und Durchmischung des Bades, wodurch Schmutz schnell dispergiert werden kann. Die Reinigung wird durch die mechanische Wirkung der Siedebblasen an der Bauteiloberfläche zusätzlich verstärkt (siehe **Bild 5.3**).

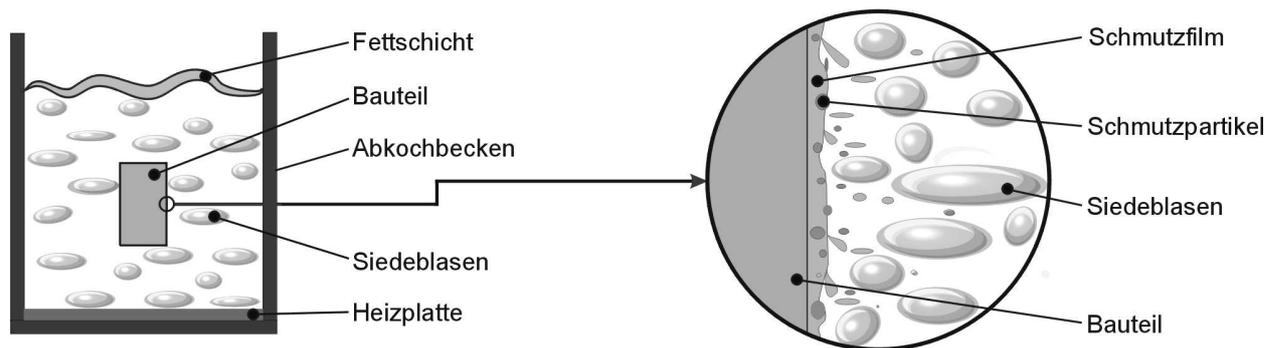


Bild 5.3 Schematische Darstellung des Abkochens

Das Abkochen wird meist als Vorreinigungsstufe für eine Dampfentfettung eingesetzt, da das Lösemittel dort prozessbedingt bereits in siedender Form vorliegt. In anderen Anwendungsfällen ist es meist zu energieintensiv. Eine dem Abkochen ähnliche Badbewegung kann auch durch das Einblasen von Pressluft in ein nicht siedendes Reinigungsbad bewirkt werden.

Durch das Abkochen können in der Regel sowohl partikuläre Verschmutzungen wie Staub und Späne, als auch Fette, Öle und Wachse entfernt werden. Gereinigt werden können alle Materialien, die im Bereich der Siedetemperatur des Reinigungsmittels hitzebeständig sind. Die Bauteile sollten zudem temperaturschockbeständig sein, da langsames Erhitzen und Abkühlen nicht immer möglich ist.

Die entfernten Verschmutzungen reichern sich im Siedebad an. Vor allem Öle und Fette bilden oftmals einen aufschwimmenden Film an der Reinigeroberfläche und verschmutzen die gereinigten Bauteile beim Herausziehen aus dem Becken erneut. Daher werden dem Abkochen in der Regel weitere Reinigungsschritte nachgeschaltet.

Referenzen: /NN96b/

Ordnungsnummer 1.1.2 Dampfentfetten

Beim Dampfentfetten wird in einer Kammer ein Lösemittel durch eine Heizeinrichtung zum Sieden gebracht. Das zu reinigende Bauteil wird in die über dem Siedesumpf entstehende Dampfzone gehängt (siehe **Bild 5.4**).

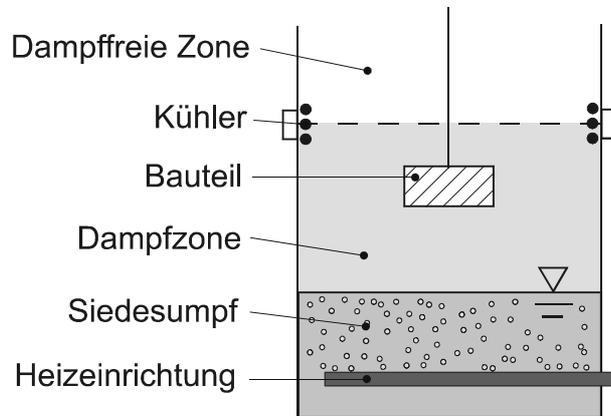


Bild 5.4 Schematische Darstellung des Dampfentfettens

Auf der kalten Bauteiloberfläche kondensiert reines Lösemittel, welches Verunreinigungen ablöst und anschließend in den Siedesumpf zurück tropft. Im oberen Bereich der Behälterwand werden Kühler installiert, die den Lösemitteldampf rückkondensieren. Werden die Kühler so angeordnet, dass das kondensierte Lösemittel auf die zu reinigenden Bauteile tropft, kann hierdurch die Reinigungswirkung zusätzlich verstärkt werden. Der Reinigungsvorgang ist beendet, wenn das zu reinigende Bauteil entweder den gewünschten Reinheitsgrad erreicht hat oder wenn es die Temperatur des umgebenden Dampfes angenommen hat und somit keine weitere Kondensation von Lösemittel mehr möglich ist. Nach dem Entfernen des Bauteils aus der Dampfzone trocknet dieses aufgrund der gespeicherten Eigenwärme schnell von selbst.

Durch Dampfentfetten können Öle, Fette, Emulsionen, Staub, Polierpasten usw. problemlos entfernt werden. Hierzu muss jedoch bei sehr starker Verschmutzung eine Kombination mit einem anderen Verfahren, wie der Tauch-, Flut-, Ultraschall- oder Spritzreinigung, erfolgen. Da stets reines Lösemittel auf dem Bauteil kondensiert, kann ein sehr hoher Reinheitsgrad und eine fleckenfreie Trocknung erreicht werden. Die Verunreinigungen sammeln sich nach und nach im Siedesumpf an und müssen in regelmäßigen Zeitabständen abgetrennt und entsorgt werden.

Die Kosten einer Dampfentfettungsanlage hängen stark von dem verwendeten Lösemittel, der Anlagengröße und den Handhabungs- und Zusatzeinrichtungen ab. Das Anlagenspektrum reicht von einfachen Dampfentfettungskammern, bei denen Warenkörbe mit dem zu reinigenden Gut von Hand eingehängt werden, bis zu vollautomatisch arbeitenden Anlagen, in denen verschiedenartige Waschprogramme mit unterstützenden Spritz- und Tauchreinigungsschritten sowie einer anschließenden Trocknung ablaufen. Als Lösemittel werden meist CKWs eingesetzt. Hierbei sind in Deutschland nur noch geschlossene Anlagen mit Abluftkontrolle zulässig. Bei der Verwendung brennbarer Lösemittel sind die Anlagen explosionsgeschützt auszuführen und entsprechende Brandschutzvorkehrungen zu treffen.

Referenzen: /böh95a/, /böh96b/, /jon98/, /kan01/, /NN94/, /NN96b/, /NN96e/, /rey98/, /rey99/

Ordnungsnummer 1.2.1 Tauchreinigung

Bei der Tauchreinigung werden die zu reinigenden Bauteile je nach Größe einzeln oder als Schüttgut in Körben in ein Bad getaucht. Die anhaftenden Verschmutzungen sollen dabei vornehmlich durch die chemische Wirkung des Reinigers gelöst oder emulgiert werden. Reicht ein einfaches Tauchen nicht aus, sämtliche Verschmutzungen abzulösen, kann die Reinigung durch eine oszillierende oder rotierende Warenkorbbewegung, durch eine Badumwälzung oder durch Presslufteinblasung mechanisch unterstützt werden (siehe **Bild 5.5**).

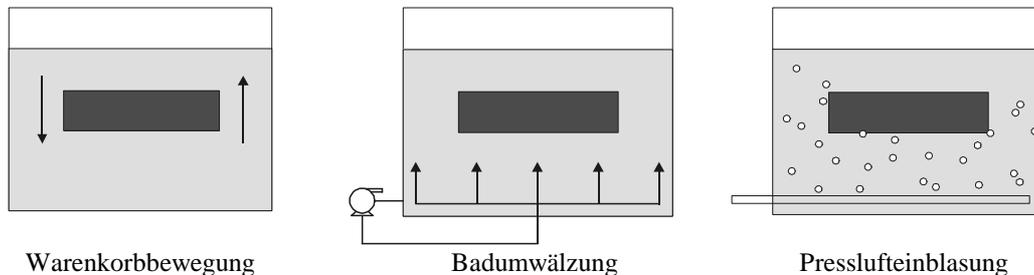


Bild 5.5 Möglichkeiten der mechanischen Unterstützung der Tauchreinigung

Da die Bauteile komplett eintauchen, können auch komplizierte Geometrien problemlos gereinigt werden. Die Tauchreinigung wird zumeist bei leichten bis mittelschweren Verunreinigungen, bei kleinen Teilen, die in Warenkörben als Schüttgut gehandhabt werden, sowie bei kompliziert geformten Werkstücken mit Bohrungen, Hohlräumen, Hinterschneidungen und engen Spalten eingesetzt. Bei großflächigen Bauteilen mit fest anhaftenden Verschmutzungen wird in der Regel der Spritzreinigung (Ordnungsnummer 1.4.1) der Vorzug gegeben.

Die Tauchreinigung kann bei Raumtemperatur oder auch mit erhitztem Reiniger erfolgen. Gründe für die Verwendung von heißem Reiniger sind meist das höhere Lösevermögen, die geringere Viskosität oder die Beschleunigung einer nachfolgenden Trocknung. In den meisten Fällen werden wässrige Reiniger oder nicht halogenierte Kohlenwasserstoffe eingesetzt. Bei der Verwendung von brennbaren Lösemitteln muss bei nicht explosionsgeschützten Anlagen die Badtemperatur 15 °C unter dem Flammpunkt des Reinigers gehalten werden. Dies bedeutet, dass Reiniger der Gefahrenklasse VbF A III nur bei Raumtemperatur oder leicht erhöhter Temperatur eingesetzt werden können. Reiniger der Klassen A I, A II oder B sollten nur in explosionsgeschützten Anlagen verwendet werden. CKWs dürfen aus Gründen des Arbeits- und Umweltschutzes ausschließlich in geschlossenen Anlagen mit Abluftkontrolle verwendet werden. Dabei bietet sich meist eine Kombination aus Tauchreinigung und Dampfentfetten (Ordnungsnummer 1.1.2) an. Sehr günstige Eigenschaften für die Tauchreinigung besitzen die in jüngerer Zeit entwickelten pflanzenölbasierten Reiniger (Ordnungsnummer -3.3).

Bei der Tauchreinigung reichern sich die abgelösten Verunreinigungen nach und nach im Bad an. Der Badaufbereitung kommt daher eine große Bedeutung zu. Höchste Reinheitsgüten können nur durch Hintereinanderschaltung mehrerer Tauchbäder erreicht werden. Dabei sollte aus Gründen der Wirtschaftlichkeit eine Reinigerkaskade realisiert werden, bei der jedes Becken von dem jeweils nachfolgenden und lediglich das letzte Becken mit frischem Reiniger versorgt wird.

Das Spektrum der angebotenen Tauchreinigungsanlagen reicht von einfachen, offenen Behältern zur manuellen Reinigung bis zu vollautomatisch arbeitenden Ein- oder Mehrkammeranlagen mit geschlossenen Reinigerkreisläufen und integrierten Spül- und Trocknungsstufen.

Referenzen: /bha98/, /chi94/, /jel99/, /mül96/, /NN01d/, /NN97c/, /pet97/, /wei69/, /wil94/

Ordnungsnummer 1.2.2 Reinigen mit flüssigem CO₂

Bei diesem Reinigungsverfahren wird Kohlendioxid in der flüssigen Phase als Lösemittel verwendet. Das Lösevermögen für unpolare Verschmutzungen ist dabei von dem Kammerdruck abhängig. Liegt der Kammerdruck gerade über dem bei Raumtemperatur zur Verflüssigung erforderlichen Druck von ca. 6,5 MPa, so liegt das Lösevermögen des Kohlendioxids um ca. vier Zehnerpotenzen unter dem der FCKW. Erst bei sehr hohen Drücken von über 50 MPa wird das Lösevermögen der FCKW erreicht. Einen guten Kompromiss zwischen gutem Lösevermögen und hohem Anlagenaufwand bietet ein Druck von ca. 15 MPa.

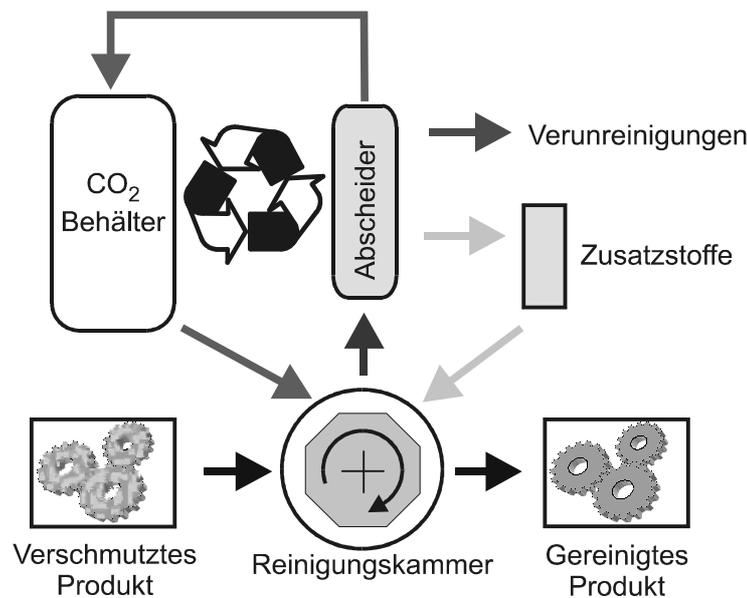


Bild 5.6 Schema der Reinigung mit flüssigem CO₂ nach /jac99a/

Dem flüssigen Kohlendioxid werden oftmals Zusatzstoffe, wie Enzyme, Detergenzien, Alkohole oder Tenside, beigemischt, um auch polare Verschmutzungen entfernen zu können. Die Reinigungszeit beträgt in der Regel 10 bis 30 Minuten, wobei zur mechanischen Unterstützung oftmals Waschtrommeln, Fluteinrichtungen, Rührwerke oder auch Ultraschallschwinger eingesetzt werden. Das Gemisch aus flüssigem Kohlendioxid, Zusatzstoffen und den gelösten Verschmutzungen wird nach der Reinigung in einen Abscheider geleitet (siehe **Bild 5.6**). Dort wird unter vermindertem Druck das Kohlendioxid verdampft und zur weiteren Verwendung in einen Vorratstank zurückgeleitet. Gelöste Verschmutzungen fallen aus und können entnommen werden. Die Zusatzstoffe werden ebenfalls abgetrennt und können zum Teil weiter verwendet werden. Zur Energierückgewinnung kann das verunreinigte Kohlendioxid beim Verlassen der Anlage über eine Turbine entspannt werden. Ein bedeutender Vorteil der Reinigung mit flüssigem CO₂ im Vergleich zur wässrigen oder Lösemittelreinigung ist, dass der oftmals problematische Prozessschritt der Bauteiltrocknung komplett entfällt. Die Bauteile können sauber und trocken aus der geleerten Reinigungskammer entnommen werden.

Bei der Reinigung mit flüssigem Kohlendioxid handelt es sich um ein sehr umweltfreundliches Verfahren. Kohlendioxid wird in aller Regel durch Luftverflüssigung gewonnen und trägt somit nicht zum Treibhauseffekt bei. Der Umgang mit Kohlendioxid ist zudem weitgehend ungefährlich. Es ist nicht giftig und bildet mit Luft keine explosiven Gemische. Bei sehr hohen Konzentrationen besteht allerdings Erstickenungsgefahr.

Referenzen: /cli96/, /dar98/, /jac99a/, /kan01/, /NN01f/, /NN01d/,

Ordnungsnummer 1.3.1 Bürstreinigung

Für die Reinigungswirkung der Bürstreinigung sind sowohl das Lösevermögen des verwendeten Reinigers als auch die mechanische Wirkung der eingesetzten Bürste verantwortlich. Die Reinigungswirkung einer Bürste hängt von der Werkstoffart, Härte, Dicke und Länge der Borsten sowie der Besatzdichte, Verzopfungsart und dem Füllstoff zwischen den Borsten ab. Weitere Einflußparameter sind die Geschwindigkeit und der Druck, mit dem die Bürste über das zu reinigende Bauteil bewegt wird. Außerdem ist die Anpassungsfähigkeit der Bürste an das zu reinigende Bauteil für eine gleichmäßige Reinigung von großer Bedeutung. Es existiert daher eine Vielzahl von einsatzspezifischen Bürstenformen, welche, je nach Art der Verschmutzung und Empfindlichkeit des Grundmaterials, Borsten aus Stahldrähten, Kunststofffasern oder weichen Naturfasern besitzen.

Harte, abrasiv wirkende Bürsten werden häufig zum Entfernen fest haftender, im Reinigungsmittel unlöslicher Verunreinigungen, wie Zunder, Farben, Flugrost, Oxidschichten und Werkstattdschmutz, verwendet. Das Reinigungsmittel dient dabei lediglich zur Aufnahme und dem Abtransport der Verunreinigungen.

Für eine oberflächenschonende Reinigung werden weiche Bürsten verwendet. Der Reinigungseffekt beruht hierbei vornehmlich auf dem Lösen bzw. Emulgieren der Verunreinigungen durch das Reinigungsmittel. Das Bürsten dient lediglich der Beschleunigung dieses Vorgangs durch die Verwirbelung der Grenzschicht und dem damit einher gehenden schnelleren Abtransport der Verschmutzungen (siehe **Bild 5.7**). Um eine Beschädigung empfindlicher Oberflächen zu vermeiden, sollte das Material der Borsten deutlich weicher sein als das der zu reinigenden Bauteile.

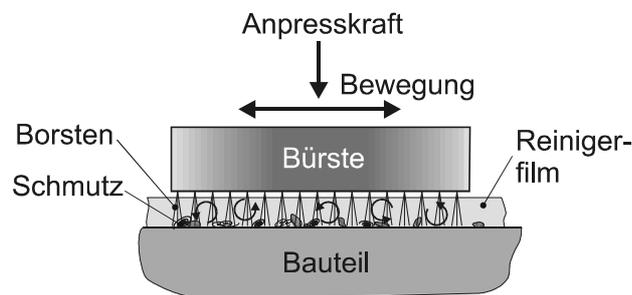


Bild 5.7 Verfahrensschema der Bürstreinigung mit Reinigungsmittel

Genau so wichtig wie die Auswahl einer für den Anwendungsfall geeignete Bürste ist die Wahl eines geeigneten Reinigungsmittels. Das Reinigungsmittel sollte in der Lage sein, die zu entfernenden Verschmutzungen zu lösen. Ist dies nicht möglich, sollten Tenside zur Verbesserung der Emulgierfähigkeit zugegeben werden. Zur Verstärkung der abrasiven Wirkung können im Reiniger feine Schleifpartikel enthalten sein. Wird die Bürstreinigung ohne Reinigungsmittel durchgeführt, wird sie im Rahmen dieser Arbeit unter der Bezeichnung "Bürsten/Fegen" den mechanischen Reinigungsverfahren zugeordnet (Ordnungsnummer 3.0.2).

Typische Einsatzbeispiele für die Bürstreinigung mit Reinigungsmitteln sind die Reinigung von Gläsern und Flaschen, PKW-Waschanlagen, die Reinigung von Profilen und Bändern im Durchlaufverfahren, die Reinigung von Fußböden oder die Rohrreinigung.

Referenzen: /jel99/, /NN01d/, /spi99/

Ordnungsnummer 1.3.2 Wischreinigung

Die Reinigungswirkung der Wischreinigung wird gleichermaßen durch das Lösevermögen des verwendeten Reinigers und durch die mechanische Wirkung des verwendeten Wischtuches bestimmt. Während das Lösemittel den am Bauteil haftenden Schmutz anlost, lockern die Fasern des Tuches durch Abrasion weiteren Schmutz und transportieren das verschmutzte Reinigungsmittel durch Kapillarwirkung ins Innere des Wischtuches. Auf diese Weise können auch dicke Schmierfilme schnell entfernt werden. Das Wischen wird meist bei weniger hartnäckigen Verschmutzungen angewandt und ist bei flüssigen Verunreinigungen besonders effektiv.

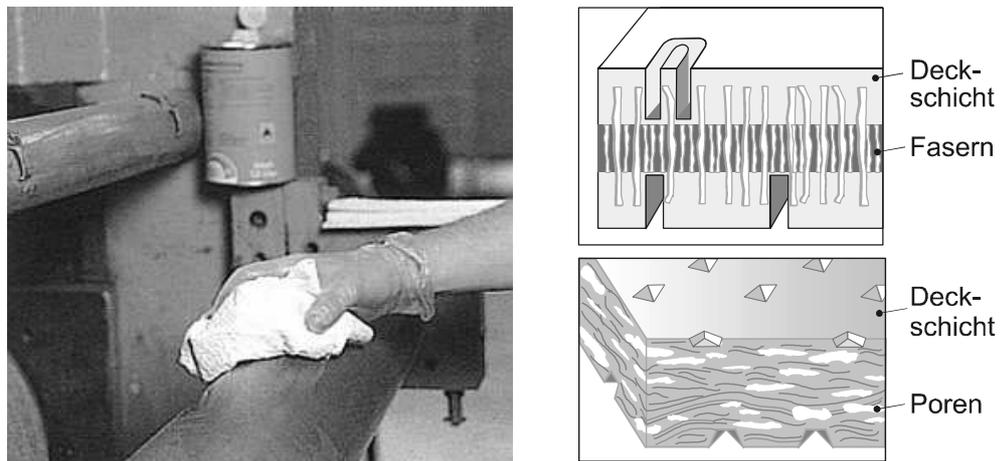


Bild 5.8 Verfahrensprinzip der Wischreinigung und Wischtucharten /NN02i/

Wischtücher und Schwämme sind in den unterschiedlichsten Formen und Arten erhältlich. Die meist verwendeten Materialien sind Schaumkunststoffe, Wollfasern, Polymerfasern oder Mischfasern. Die Auswahl eines Tuches oder Schwammes erfolgt in Abhängigkeit von der geforderten Härte, Rauheit und Saugkraft. Außerdem spielt bei der Auswahl die Eignung zur Entsorgung eine wichtige Rolle, da bei der Wischreinigung eine relativ große Abfallmenge in Form verschmutzter Wischtücher entsteht.

Wichtiger als die Auswahl eines geeigneten Tuches oder Schwammes ist die richtige Wahl des Reinigungsmittels. Es sollte nach Möglichkeit in der Lage sein, die zu entfernenden Verschmutzungen zu lösen. Ist dies nicht möglich, sollten Tenside zur Verbesserung der Emulgierfähigkeit zugegeben werden. Ist eine starke abrasive Wirkung gefordert, können dem Reiniger feine Schleifpartikel zugesetzt werden. Erfolgt eine Wischreinigung trocken, d. h. ohne Reinigungsmittel, wird sie im Rahmen dieser Arbeit als "Abwischen" bezeichnet und den mechanischen Reinigungsverfahren zugeordnet (Ordnungsnummer 3.0.1).

Eine Wischreinigung erfolgt meist bei der Instandhaltung von Maschinen und Betriebsmitteln, seltener in der Fertigung. Sie wird in aller Regel von Hand durchgeführt. Automatisch arbeitende Wischanlagen werden nur in Sonderfällen, z. B. als PKW-Waschanlagen, eingesetzt.

Referenzen: /cat00b/, /jel99/, /NN01d/

Ordnungsnummer 1.3.3 Trommelreinigung

Unter Trommelreinigung wird in dieser Arbeit die Reinigung von Werkstücken in umlaufenden Trommeln unter Zugabe von Reinigungsflüssigkeiten verstanden. Dabei beruht die Reinigungswirkung vornehmlich auf der chemischen Wirkung des eingesetzten Reinigungsmittels. Die Umwälzbewegung der Bauteile in der Trommel dient lediglich der besseren Durchmischung. Leistet die Reibbewegung der Bauteile untereinander, an Schleifkörpern oder an den Trommelwänden einen bedeutenden Beitrag zur Reinigung, so wird eine Einordnung unter dem mechanischen Reinigungsverfahren Gleitschleifen (Ordnungsnummer 3.1.1) vorgenommen.

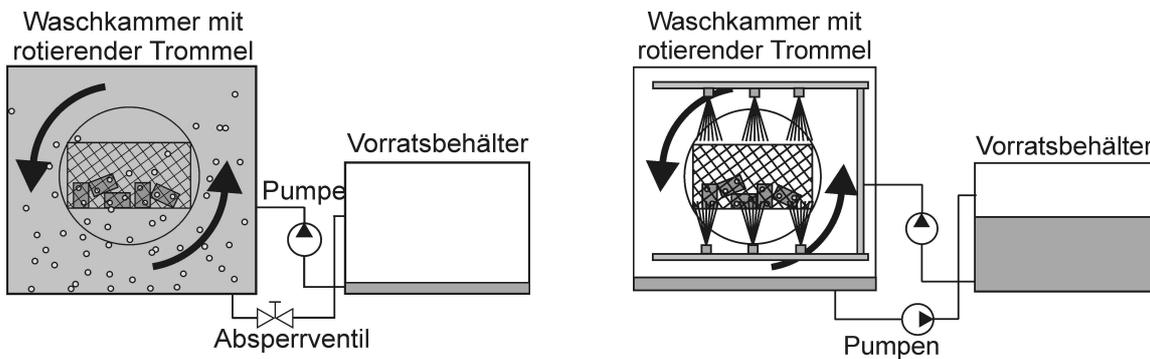


Bild 5.9 Trommelreinigung (links: Tauchverfahren, rechts: Spritzverfahren)

Bei der Trommelreinigung nach dem Tauchverfahren (siehe Darstellung links in **Bild 5.9**) werden die zu reinigenden Bauteile in eine Lochblech- oder Siebtrommel gegeben, welche teilweise oder vollständig in ein Bad eintaucht. Durch die Rotation der Trommel wird das Reinigungsbad durchmischt, und es wird ständig frischer Reiniger an die verschmutzten Bauteiloberflächen gebracht. Als Reiniger werden zumeist Neutralreiniger oder alkalische Reiniger, in Sonderfällen auch organische Lösemittel verwendet. Liegen hartnäckige Verschmutzungen vor, kann zur Verbesserung der Reinigungswirkung zusätzlich Ultraschall oder Druckumfluten eingesetzt werden.

Bei der Trommelreinigung nach dem Spritzverfahren (siehe Darstellung rechts in **Bild 5.9**) läuft eine Lochblech- oder Siebtrommel in einer Spritzkammer um. Die Reinigungsflüssigkeit wird dabei entweder von außen aufgespritzt oder durch eine Spritzlanze ins Innere der Trommel gebracht. Durch den Umlauf der Reinigungstrommel wird das Reinigungsgut so durchmischt, dass die Spritzstrahlen alle Bauteiloberflächen gleichmäßig erreichen. Als Reiniger kommen in der Regel Neutralreiniger oder alkalische Reiniger zum Einsatz. Brennbare Kohlenwasserstoffe werden wegen der Bildung explosionsfähiger Gemische beim Verspritzen nur in den seltensten Fällen verwendet. Aufgrund der starken mechanischen Wirkung der Spritzstrahlen können auch hartnäckige Verschmutzungen entfernt werden. Die gute Spülwirkung unterstützt dabei den Austrag abgelöster Partikel.

Die Trommelreinigung dient der Reinigung von als Schüttgut gehandhabten Kleinteilen im Chargenbetrieb. Typische Einsatzbereiche sind die Zwischen- oder Endreinigung von Dreh-, Stanz-, Fräs- oder Umformteilen. Ob bei der Trommelreinigung eine Tauchreinigung oder eine Spritzreinigung realisiert wird, hängt von den Reinheitsanforderungen, der Lösbarkeit der Verschmutzungen und deren Menge ab.

Referenzen: /NN02c/

Ordnungsnummer 1.4.1 Spritzreinigung

Bei der Spritzreinigung wird eine Reinigungsflüssigkeit auf die zu reinigende Oberfläche gespritzt. Dabei werden Verunreinigungen zum Teil im Reinigungsmittel gelöst bzw. emulgiert und zum Teil durch Impulsübertragung abgelöst und weggeschwemmt. Eine Relativbewegung zwischen Waschgut und Spritzdüsen, z. B. durch einen rotierenden Düsenrahmen, unterstützt eine gleichmäßige Reinigung. Um komplizierte Bauteilgeometrien gezielt auszuspritzen, können auch Anfahrdüsen eingesetzt werden (siehe **Bild 5.10**).

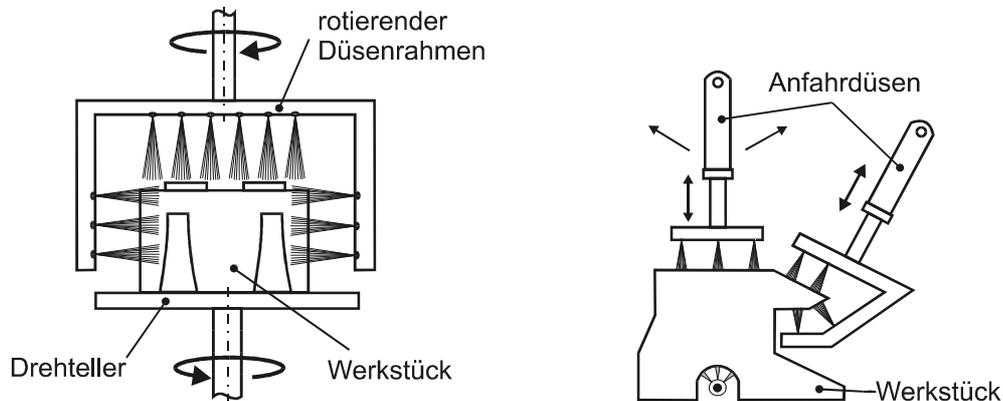


Bild 5.10 Verfahrensvarianten der Spritzreinigung: links: Spritzrahmen; rechts: Anfahrdüsen

Der Spritzdruck kann in einem weiten Bereich eingestellt werden. Ist eine schonende Reinigung mit starker Schwemmwirkung gefordert, wird ein geringer Druck ($< 50 \text{ kPa}$) mit hohem Volumenstrom gewählt. Für hartnäckigere Verschmutzungen werden höhere Spritzdrücke (bis ca. 200 kPa) mit entsprechend größerer mechanischer Wirkung verwendet. Dabei kann, zumindest in Grenzen, die chemische Wirkung aggressiver Reiniger und Lösemittel durch die mechanische Wirkung der Spritzstrahlen substituiert werden. Bei sehr hohen Spritzdrücken geht das Verfahren in das Druckflüssigkeitsstrahlen über (Ordnungsnummer 2.3.1).

In den meisten Fällen werden zum Spritzen schaumarme wässrige Reiniger eingesetzt. Mit brennbaren Lösemitteln findet eine Spritzreinigung meist in Unterdruckanlagen ($< 12,5 \text{ kPa}$) statt, in denen der im Falle einer Explosion entstehende Druckstoß den Umgebungsdruck nicht überschreitet. Das Spritzen mit CKWs darf nur in geschlossenen Anlagen erfolgen und wird meist mit einer Dampffentfettung (Ordnungsnummer 1.1.2) kombiniert.

Die Spritzreinigung kann mit Reinigern bei Raumtemperatur oder auch mit erhitztem Reiniger durchgeführt werden. Bei der Verwendung von heißem Reiniger ist zu beachten, dass es durch Nebelbildung an den Düsen zu einer starken Abkühlung kommt. Aufgrund der hohen Wärmeverluste sollte das Spritzen nur dann mit heißem Reiniger erfolgen, wenn die Verschmutzungen anders nicht zu entfernen sind oder die höhere Temperatur erforderlich ist, um eine nachfolgende Trocknung zu beschleunigen.

Die Spritzreinigung wird meist angewendet, wenn starke und fest haftende Verschmutzungen vorliegen, große Stückzahlen mit kurzen Durchlaufzeiten zu verarbeiten sind oder sehr große Werkstücke gereinigt werden müssen. Ein typisches Einsatzgebiet ist die in den Fertigungsprozess integrierte Reinigung von Motoren- und Getriebeteilen. Übliche Anlagenbauformen sind manuelle Spritzbecken, Einkammerautomaten, Mehrkammeranlagen und Durchlaufsysteme.

Referenzen: /chr98/, /ise98/, /jel99/, /mit99/, /mül96/, /NN97c/, /pet97/, /wag94/, /wei69/, /wil94/

Ordnungsnummer 1.4.2 Druckumfluten

Von Fluten wird gesprochen, wenn eine zu Beginn leere Reinigungskammer zunächst mit Bauteilen bestückt und anschließend mit Reinigungsflüssigkeit gefüllt (geflutet) wird. Das Fluten ist somit ein mit der Tauchreinigung (Ordnungsnummer 1.2.1) sehr eng verwandtes Verfahren. Durch das Fluten ergibt sich eine gute Baddurchmischung, welche das Lösen und Emulgieren von Schmutzstoffen begünstigt.

Beim Druckumfluten wird die Reinigungsflüssigkeit während der Reinigung fortlaufend umgepumpt und mit einem Druck von ca. 800 bis 900 kPa durch ein unter der Badoberfläche liegendes Düsensystem gedrückt, so dass eine hohe Umflutungsgeschwindigkeit entsteht. Die hohe Strömungsgeschwindigkeit sorgt, u. a. durch Strömungsabrissse an den Werkstückkanten, für starke Turbulenzen, die den Schmutz von den Bauteiloberflächen ablösen und im Bad verteilen.

Ein zusätzlicher Reinigungseffekt ergibt sich durch die Sogwirkung beim Vorbeiströmen an Sacklöchern und Vertiefungen. Durch die hohe Geschwindigkeit kommt es, entsprechend der Bernoulli-Gleichung, zu einer Absenkung des lokalen Druckes. In Sacklöchern herrscht aufgrund der dort stehenden Flüssigkeit ein etwas höherer Druck, so dass es zu einer Wirbelströmung kommt, die Verschmutzungen heraus spült (siehe **Bild 5.11**).

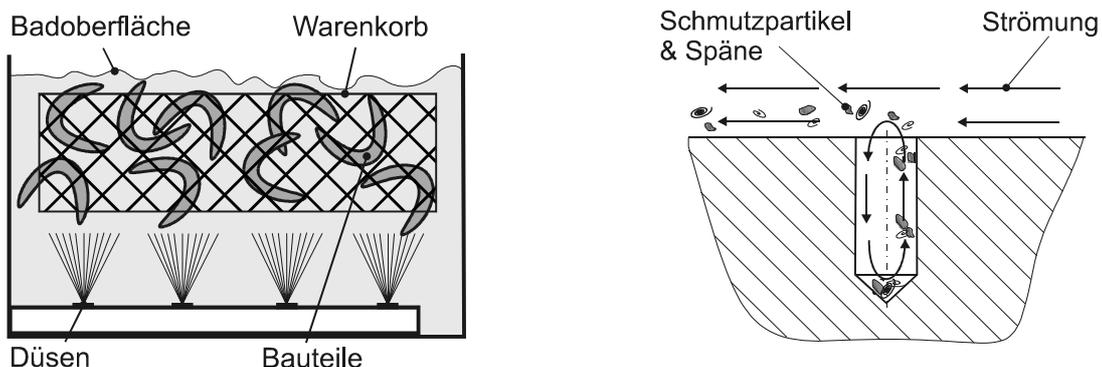


Bild 5.11 Druckumfluten (links: Verfahrensprinzip; rechts: Saugwirkung an Sacklöchern)

Wird mit sehr hohen Geschwindigkeiten umflutet, kann es zudem zur Bildung von Kavitationsbläschen kommen. Der dabei auftretende Reinigungseffekt ist dem der Ultraschallreinigung (Ordnungsnummer 1.6.1) sehr ähnlich. Ein weiteres vorteilhaftes Verfahrensmerkmal ist, dass sich aufgrund der starken Verwirbelung keine Ölschicht auf der Badoberfläche bildet, so dass die Bauteile beim Herausheben nicht erneut verschmutzt werden.

Die Einsatzgebiete des Druckumflutens entsprechen weitgehend denen der Tauchreinigung. Aufgrund der höheren mechanischen Wirkung können mit dem Druckumfluten jedoch meist kürzere Reinigungszyklen realisiert werden. Zudem ist das Verfahren besonders gut für die Reinigung und Entspannung von Teilen mit tiefen Bohrungen, Sacklöchern u. ä. geeignet. Weitere typische Einsatzfälle sind die Reinigung von Rohrbündeln und Röhren mit kleinen Innendurchmessern. Für sehr kleine, leichte Bauteile ist das Druckumfluten meist nicht geeignet, da die Bauteile von der starken Strömung mitgerissen werden.

Referenzen: /biv97/, /jel99/, /möb95/, /pet97/

Ordnungsnummer 1.4.3 Powerwasher

Als Powerwasher werden in dieser Arbeit Reinigungsanlagen bezeichnet, in denen verschiedene Nassreinigungsverfahren in einer kompakten Anlage miteinander kombiniert werden. Die einzelnen Reinigungsschritte laufen in Powerwashern entweder in hintereinander geschalteten Reinigungskammern mit automatischem Werkstücktransport ab, oder die Reinigungsverfahren laufen nacheinander oder zum Teil auch gleichzeitig in einer Arbeitskammer ab.

Anmerkung: Im englischsprachigen Raum wird der Begriff "Powerwasher" neben der obigen Definition auch für Druckflüssigkeitsstrahlgeräte (Ordnungsnummer 2.3.1) verwendet. In einigen Fällen wird auch eine Spritzreinigung (Ordnungsnummer 1.4.1) mit alkalischen Reinigern als "Powerwashing" bezeichnet.

Je nach Anlagentyp können sowohl wässrige Reiniger als auch CKW oder nicht halogenierte Kohlenwasserstoffe eingesetzt werden. Spritzverfahren (Ordnungsnummer 1.4.1) werden häufig bei wässrigen und seltener bei CKW-Anlagen eingesetzt. Bei brennbaren Lösemitteln werden sie aufgrund der Explosionsgefahr in der Regel vermieden. Zur mechanischen Unterstützung einer Tauchreinigung (Ordnungsnummer 1.2.1) wird im einfachsten Fall eine Warenbewegung durch Hub, Drehen oder Schwenken eingesetzt. Für die Abreinigung von Pigmentschmutz wird oftmals zusätzlich Ultraschall (Ordnungsnummer 1.6.1) eingebracht. Für eine effektive Entspannung und die Reinigung von tiefen Bohrungen und Sacklöchern kann das Druckumfluten (Ordnungsnummer 1.4.2) eingesetzt werden. Da die Bauteiloberfläche nach der Reinigung in der Regel rückstandsfrei und trocken sein soll, werden meist auch Spül- und Trocknungsprozesse integriert. Die Trocknung erfolgt zumeist konvektiv, zum Teil unterstützt durch Vakuum. Die besten Trocknungsleistungen werden bei CKW erreicht; meist reicht schon die in den Teilen gespeicherte Wärmeenergie für eine schnelle Trocknung aus. Trotz der günstigen Trocknungseigenschaften ist aber der anlagentechnische Aufwand wegen der gebotenen abluftfreien Fahrweise beträchtlich. Beim Einsatz wässriger Reiniger wird zumeist ein Trocknungsluft-Kreislauf mit Wärmerückgewinnung realisiert. Vergleichsweise problematisch ist die Trocknung bei brennbaren Lösemitteln aufgrund der Explosionsgefahr bei Überschreiten des Flammpunktes.

Der Reinigeraufbereitung kommt bei allen Nassverfahren eine hohe Bedeutung zu. Eine effektive Aufbereitung erhöht die Badstandzeiten, verbessert die Reinigungsqualität, verringert die Umweltbelastung und erhöht die Wirtschaftlichkeit. Bei Powerwashern ist die Reinigeraufbereitung zumeist direkt in die Anlage integriert.

Durch die Kombination mehrerer Reinigungsverfahren sind Powerwasher in der Lage, ein sehr breites Spektrum an Reinigungsaufgaben abzudecken. Der Reinigungsablauf kann dabei auf den jeweiligen Einsatzfall optimal abgestimmt werden. Die Einsatzgebiete reichen von der einfachen Grobreinigung, z. B. als Zwischenreinigung zwischen spanenden Bearbeitungsschritten, bis hin zur vielstufigen Feinreinigung als Vorbereitung einer Oberflächenbeschichtung. Da es sich bei Powerwashern um kompakt gebaute Anlagen handelt, in die die zu reinigenden Bauteile zumeist in Warenkörben eingebracht werden, sind sie vornehmlich für die Reinigung von Kleinteilen geeignet. Mit der Größe der zu reinigenden Bauteile steigt zumeist auch der Anlagenaufwand.

Referenzen: /jel99/, /NN01d/, /NN97c/, /pet97/, /wei00/, /wei69/

Ordnungsnummer 1.4.4 Reinigen mit überkritischem CO₂

CO₂ kann auch in seiner überkritischen Phase als Lösemittel verwendet werden. Der Vorteil gegenüber der Verwendung der flüssigen Phase liegt darin, dass die überkritische Phase geringere Viskosität und Oberflächenspannung sowie ein gasähnliches Diffusions- und Konvektionsverhalten aufweist, so dass auch kleinste Spalte und feinste Poren gereinigt und gelöste Schmutzteilchen schnell im Bad verteilt werden können. Die Reinigung findet in der Regel bei einer Temperatur von 35 °C bis 65 °C und einem Druck von 14 MPa bis 28 MPa statt. Die Reinigungszeit beträgt 15 bis 30 Minuten. Während dieser Zeit wird kontinuierlich frisches CO₂ durch die Reinigungskammer gepumpt. Eine mechanische Unterstützung der Reinigung ist nicht unbedingt erforderlich, verkürzt jedoch die Reinigungszeit und verbessert die Reinigungswirkung insbesondere bei Partikelschmutz. Nach Verlassen der Reinigungskammer fließt das CO₂ in einen Abscheider und geht bei vermindertem Druck wieder in den gasförmigen Zustand über. Gelöste Verunreinigungen fallen dabei aus. Das gasförmige CO₂ wird in einem Kühler verflüssigt und fließt zur weiteren Verwendung in einen Vorratstank zurück. Auf diese Weise kann ein geschlossener CO₂-Kreislauf realisiert werden (siehe **Bild 5.12**). Die Bauteile können aus der geleerten Kammer ohne zusätzlichen Trocknungsschritt entnommen werden.

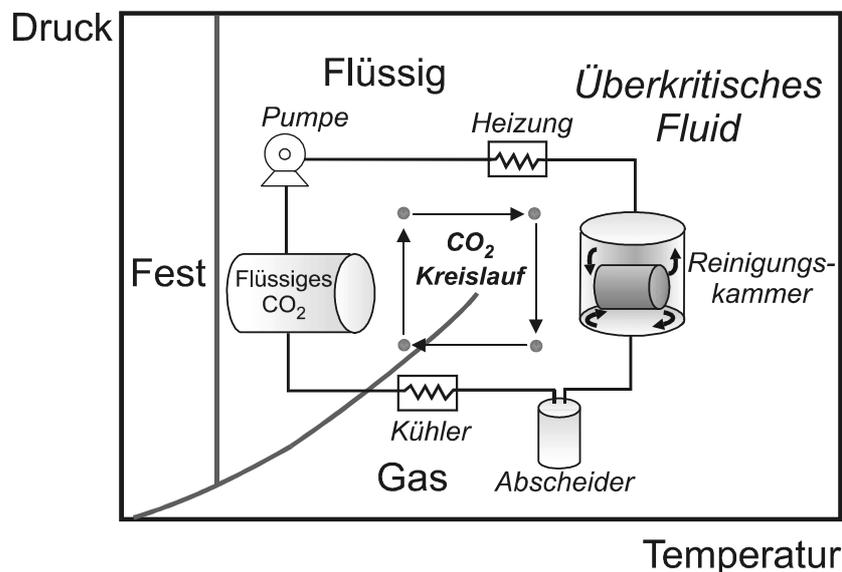


Bild 5.12 Schema der Reinigung mit überkritischem CO₂ nach /rub99/

Umfangreiche Versuchsreihen haben gezeigt, dass mit überkritischem CO₂ alle gebräuchlichen Werkstoffe, mit Ausnahme von Kunststoffen, gereinigt werden können /mch98/. Bei der Reinigung von Kunststoffen kann es zu Anlöseerscheinungen, Veränderungen des Polymergefüges und Bläschenbildung durch Gasaufnahme kommen. Amorphe Kunststoffe haben sich als anfälliger für diese Erscheinungen erwiesen als kristalline. Die mit überkritischem CO₂ erzielbare Reinheit hängt vornehmlich von der Art der vorliegenden Verschmutzung und kaum von dem Bauteilwerkstoff ab. Versuche mit 145 häufig auftretenden Schmutzarten haben gezeigt, dass, je nach Zusammensetzung, 85 % bis 99 % des Schmutzes entfernt werden können. Durch Zugabe von Zusatzstoffen, wie Alkoholen oder Tensiden, kann die Reinigungswirkung, insbesondere bei polaren Verschmutzungen, zum Teil noch gesteigert werden. In Laborversuchen konnten auch stabile Mikroemulsionen mit Wasser gebildet und erfolgreich eingesetzt werden /mch98/. Die relativ hohen Investitionskosten für eine Hochdruck-CO₂-Anlage können auf lange Sicht durch die geringen Betriebs- und Entsorgungskosten wettgemacht werden.

Referenzen: /ago95/, /cli96/, /dah98/, /dar96/, /kan01/, /mch98/, /NN01e/, /pir94/, /spa95/

Ordnungsnummer 1.5.1 Biologische Reinigung

Viele in der Natur vorkommenden Mikroorganismen besitzen die Fähigkeit, Fette und Öle zu Kohlendioxid und Wasser abzubauen. Derartige Organismen können gezielt angezchtet und für eine biologische Reinigung verwendet werden.

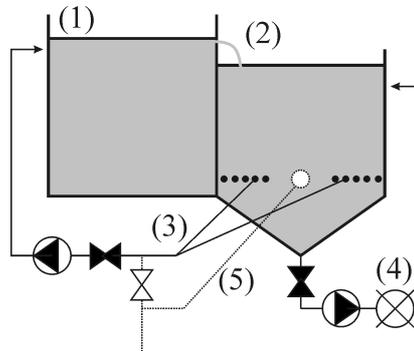


Bild 5.13 Schema einer Anlage zur biologischen Reinigung nach /kun92/

Ein mögliches Anlagenschema der biologischen Reinigung zeigt **Bild 5.13**. Ebenso wie bei der herkömmlichen wässrigen Reinigung werden Verschmutzungen unter Zuhilfenahme von Tensiden von der Bauteiloberfläche abgelöst, emulgiert und im Reinigungsbecken (1) dispergiert. Die Emulsion gelangt durch einen Überlauf in einen vom Reinigungsbad getrennten Bioreaktor (2), in dem Mikroorganismen für eine kontinuierliche Aufbereitung sorgen. Eine semipermeable Membran im Rücklauf (3) verhindert, dass Mikroorganismen in das Reinigungsbad und damit an die Bauteile gelangen. Da der Abbau der Kohlenwasserstoffe zumeist aerob erfolgt, ist eine Begasung (5) des Bioreaktors mit Sauerstoff oder Druckluft erforderlich. Abgestorbene Mikroorganismen können in einem im Kreislauf betriebenen Biomasse-Desintegrator (4) durch Zellaufschluss zersetzt und dem Bioreaktor erneut als Nährstoff zugeführt werden. Anorganische Verschmutzungen müssen ausgefiltert werden.

Der Einsatz von Mikroorganismen ist zumeist auf den neutralen pH-Bereich (pH 6 - 8) und nicht zu hohe Badtemperaturen (bis 40 °C) beschränkt. Es sind jedoch auch bereits Bakterienstämme für extremere pH-Bereiche (pH 2 - 4 oder pH > 10) und höhere Temperaturen (> 50 °C) erhältlich. Daher ist in vielen Fällen eine problemlose Umstellung einer bereits bestehenden wässrigen Reinigung unter Beibehaltung des Reinigers und der Prozesstemperatur möglich. Bei der Wahl der eingesetzten Bakterienstämme ist auf die Verträglichkeit mit dem verwendeten Reinigungsmittel und den zu entfernenden Verschmutzungen zu achten. Der Hauptvorteil der biologischen Reinigung im Vergleich zur konventionellen wässrigen Reinigung liegt in der Einsparung von Betriebs- und Entsorgungskosten bei gleichzeitiger Entlastung der Umwelt.

Im Hinblick auf den Arbeitsschutz ist zu beachten, dass die für eine effektive Reinigung erforderliche Biomassekonzentration gesundheitsschädigend wirken kann. Zudem muss die Anreicherung von toxischen Abbau- und Zwischenprodukten durch entsprechende Wahl der Prozessparameter und Bakterienstämme unterbunden werden. Um ein unkontrolliertes Verschleppen der Mikroorganismen zu verhindern, sollte der Bioreaktor stets geschlossen gehalten werden. Die Züchtung unerwünschter Mikroorganismen, z. B. Krankheitserreger, ist in der Regel nicht zu befürchten, da die im Bioreaktor vorherrschenden chemischen Verhältnisse für das Wachstum derartiger Organismen ungeeignet sind.

Referenzen: /göp97/, /kun92/, /mcn99/, /mof98/

Ordnungsnummer 1.6.1 Ultraschallreinigung

Bei der Reinigung mit Ultraschall werden die zu reinigenden Teile in ein mit einem geeigneten Reinigungsmittel gefülltes Becken gehängt. Durch am Boden bzw. an der Seitenwand des Reinigungsbeckens angebrachte Schwingungserzeuger wird Ultraschall eingebracht, der sich in Form von Longitudinalschwingungen im Reinigungsmittel ausbreitet. Beim Auftreffen dieser Druckstöße auf die Oberfläche der zu reinigenden Teile entsteht Kavitation: In der Unterdruckphase der Schwingung wird der Dampfdruck der Reinigungsflüssigkeit lokal unterschritten, und es entstehen dampfgefüllte Bläschen. Keimzellen dieser Kavitationsbläschen sind die auf der Oberfläche befindlichen Verunreinigungen und die Oberfläche selbst. Somit entstehen die Bläschen genau dort, wo sie zur Reinigung benötigt werden. Beim Wiederansteigen des Druckes implodieren die Bläschen mit hoher Geschwindigkeit (siehe **Bild 5.14**). Der dabei entstehende Aufschlagdruck von ca. 100 MPa bewirkt eine starke mechanische Reinigungswirkung. Auch nicht lösliche Verschmutzungen werden durch die implodierenden Kavitationsbläschen von der Bauteiloberfläche gesprengt und durch die fortwährenden Druckschwankungen in der Reinigungsflüssigkeit dispergiert. Außerdem wird die Grenzschicht durchwirbelt und ständig frisches Reinigungsmittel an die Bauteiloberfläche transportiert.

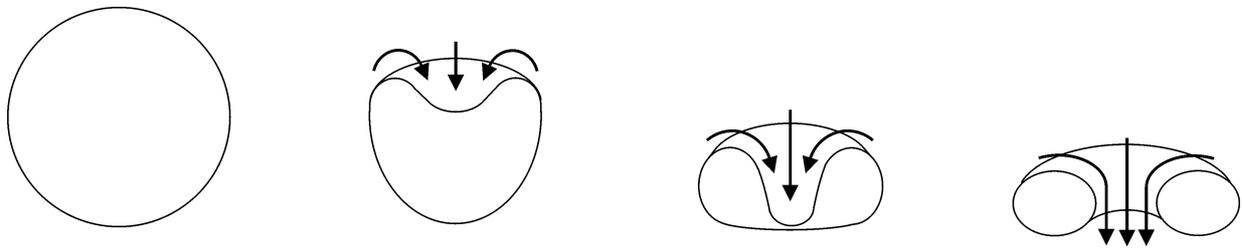


Bild 5.14 Schematische Darstellung der Implosion einer Kavitationsblase

Zur Optimierung der Reinigungswirkung müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden: Zum einen muss die Art des Reinigungsmittels und dessen Temperatur auf die zu entfernenden Verunreinigungen und auf das zu reinigende Material abgestimmt werden. Zum anderen muss die Frequenz und die Amplitude des Ultraschalls an die vorliegende Aufgabe angepasst werden. So ist beispielsweise die Verwendung einer niedrigen Schallfrequenz und die daraus resultierenden großen Kavitationsbläschen besonders gut für größere Bauteile und grobe Verschmutzungen geeignet, während eine hohe Frequenz mit entsprechend kleineren Kavitationsbläschen eher für kleine, empfindliche Bauteile und leichte Verschmutzungen geeignet ist. Zwei Frequenzbereiche haben sich in der Praxis besonders bewährt: Frequenzen von 20 bis 40 kHz zur Reinigung von eher unempfindlichen, stark verschmutzten Teilen und Frequenzen von 400 bis 800 kHz zur Reinigung empfindlicher und nur leicht verschmutzter Teile. In einigen Fällen ist es günstig, bei einem geringen Unterdruck zu beschallen, da dann zum einen eine geringere Schallenergie zur Bildung der Kavitation benötigt wird und zum anderen Luft aus konstruktiv bedingten Hohlräumen gesaugt wird.

Die Reinigung dauert, je nach Dicke der Verschmutzungsschicht, 15 bis 60 Sekunden. Danach werden die Teile in der Regel gespült und getrocknet. Mit der Ultraschallreinigung können höchste Reinheitsgrade erreicht werden. Die Hauptanwendungsgebiete sind die Reinigung von Teilen der Feinmechanik, medizinischen Instrumenten, optischen Linsen, Glasgefäßen, Zahnprothesen, Schmuck und Besteckteilen, elektrischen Baugruppen sowie zu beschichtenden Bauteilen.

Referenzen: /det63/, /fuc97/, /göl96/, /kre98/, /kut88/, /mat62/, /rey00/, /sch97/, /sew69/, /wag97/

Ordnungsnummer 1.7.1 Elektrochemische Reinigung

Bei der elektrochemischen Reinigung handelt es sich um ein Feinreinigungsverfahren für metallische Werkstücke. Das zu reinigende Bauteil wird mit einem elektrischen Kontakt versehen und zusammen mit einer Gegenelektrode in einen Elektrolyten gehängt. Durch Anlegen einer Spannung werden an der Anode Sauerstoff und an der Kathode Wasserstoff gebildet. Diese Gase werden direkt an der Oberfläche des Metalls, also unter der Schmutzschicht, erzeugt und heben die Verschmutzungen von der Oberfläche ab. Der Elektrolyt enthält zudem Tenside zur Verbesserung der Reinigungswirkung und des Emulgierverhaltens. Die zu entfernenden Verschmutzungsschichten dürfen nicht zu dick sein, da sie sonst den zur Reinigung erforderlichen Stromfluss behindern. Das Verfahren wird zumeist als letzter Reinigungsschritt vor einer galvanischen Beschichtung nach vorhergehender Grobreinigung mit Lösemitteln oder alkalischen Reinigern eingesetzt. Mit entsprechenden Elektrolyten kann auch eine Entrostung und Entzunderung der Oberfläche erfolgen. Die bei der elektrolytischen Reinigung einzuhaltenden Arbeitsabläufe und Verfahrensparameter sind in DIN 65473 genormt.

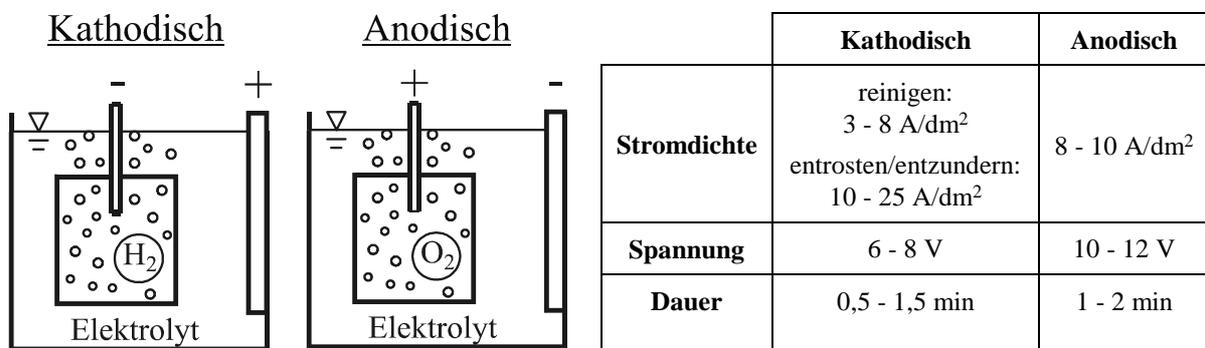


Bild 5.15 Schema und Prozessparameter der elektrochemischen Reinigung

Die Beschaltung des Bauteils kann anodisch, kathodisch oder mit wechselnder Polung erfolgen (siehe **Bild 5.15**). An der Kathode entsteht doppelt so viel Wasserstoff wie Sauerstoff an der Anode. Die Beschaltung des Bauteils als Kathode führt daher zu einer kürzeren Reinigungszeit und ist im Allgemeinen vorzuziehen. Bauteile aus Stahl mit höherem Kohlenstoffgehalt neigen jedoch zur Wasserstoffaufnahme, was zur Versprödung des Werkstoffs führt. Derartige Bauteile müssen nach einer kathodischen Reinigung ca. eine Stunde bei einer Temperatur von 200 °C geglüht werden, um den Wasserstoff auszutreiben, oder sie müssen anodisch gereinigt werden. Bei einer anodischen Reinigung bilden sich jedoch Oxide an der Bauteiloberfläche. Bei hartnäckig anhaftenden Verschmutzungen sowie bei Rost und Verzunderungen wird die Reinigungsleistung durch ein periodisches Umpolen mit einem Takt im Sekundenbereich verbessert. Wird das Bauteil nach der elektrolytischen Reinigung beschichtet, sollte die Polung im letzten Takt auf die Anforderungen der Beschichtung abgestimmt werden. Eine kathodische Polung ergibt eine negative, eine anodische Polung eine positive Oberflächenaktivierung.

Kurzzeitiges Arbeiten mit höheren Stromdichten bringt eine stärkere Reinigungswirkung als eine längere Behandlung mit niedrigeren Stromdichten. Aus diesem Grund werden in der Praxis relativ hohe mittlere Stromdichten von bis zu 2500 Ampere pro Quadratmeter Bauteiloberfläche eingestellt. Die Reinigungszeit beträgt dann, je nach Werkstoff und Anwendungsfall, nur 0,5 bis 2 Minuten. Nach der Reinigung muss ein gründliches Spülen erfolgen, damit weder Elektrolyt noch emulgierter Schmutz in nachfolgende Bäder gelangt.

Referenzen: /NN96d/, /pet97/, /thi92/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.0.1 Abblasen

Schmutzpartikel können von einer Oberfläche durch einen scharfen Luftstrahl abgeblasen werden, sofern sie nicht zu stark anhaften (siehe **Bild 5.16**). Der Luftstrom übt dabei auf jeden Partikel eine aerodynamische Kraft aus, welche proportional zu der projizierten Querschnittsfläche des Partikels in Anströmrichtung ist. Wenn diese Strömungswiderstandskraft die Adhäsionskraft zwischen Partikel und Oberfläche überschreitet, wird der Partikel von der Oberfläche abgelöst und vom Luftstrom mitgerissen. Die Adhäsionskraft, bestimmt durch Van-der-Waals-Kräfte, Massenanziehung, Mikroverklammerung, elektrische, magnetische und kapillare Kräfte, ist ebenfalls vom Partikeldurchmesser abhängig. Sie nimmt mit der Partikelgröße jedoch in der Regel weniger schnell ab als die Strömungswiderstandskraft. Sehr kleine Partikel (im Mikrometer-Bereich) können daher auch durch einen Hochdruckstrahl nicht entfernt werden. In derartigen Anwendungsfällen sollte über den Einsatz des CO₂-Schnee-Strahlens (Ordnungsnummer 2.4.2) als Alternative nachgedacht werden. Größere Partikel, z. B. Staub oder Späne, besitzen hingegen im Verhältnis zu ihrem Strömungswiderstand relativ geringe Adhäsionskräfte, so dass sie leicht abgeblasen werden können. Liegt neben Partikelschmutz auch eine Verschmutzung durch flüssige oder pastöse Stoffe, wie Öle und Fette, vor, sorgen Oberflächenspannung, Adhäsion und Kapillarwirkung für eine deutlich festere Haftung. Ein Abblasen ist in diesen Fällen meist nicht erfolgversprechend. Große Mengen flüssiger Verunreinigungen können durch Abblasen reduziert werden, es verbleibt jedoch ein dünner Schmutzfilm auf dem Werkstück, der in einem nachgeschalteten Reinigungsschritt entfernt werden muss.

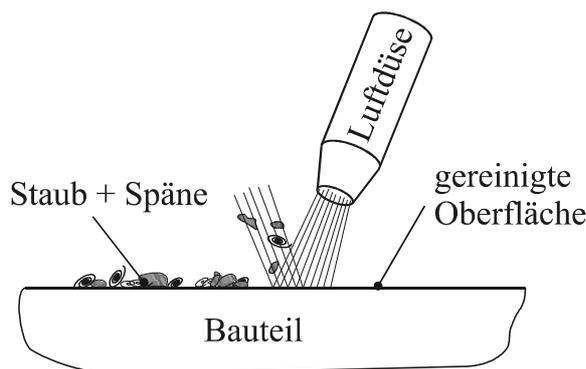


Bild 5.16 Verfahrensprinzip des Abblasens

Im Werkstattbereich werden einfache Druckluftpistolen oder Ablaskabinen eingesetzt, mit denen Werkstücke oder auch Betriebsmittel und Maschinen von Staub, Spänen und Werkstattschmutz befreit werden. Dabei können auch kompliziert geformte Bauteile mit Bohrungen und Hinterschneidungen auf einfache Weise gereinigt werden. Ablaskabinen verfügen zumeist über eine Absaugung mit Filterung, um ein Absetzen der weggeblasenen Verunreinigungen in der Umgebung und auf dem Bauteil zu verhindern. In der Automobilindustrie werden vollautomatische Abblasportale zur Endreinigung von Karosserien vor der Lackierung verwendet. Ein weiterer Anwendungsbereich des Abblasens ist die Bauteiltrocknung. Zum Abblasen kommt meist gefilterte Druckluft aus einem betriebsinternen Druckluftnetz mit 200 bis 800 kPa zum Einsatz. In Sonderfällen werden auch höhere Drücke eingesetzt.

Referenzen: /boh97/, /NN00b/

Ordnungsnummer 2.0.2 Absaugen

Beim Absaugen wird eine Saugdüse über die zu reinigende Bauteiloberfläche geführt. Eine über eine Sauggarnitur mit der Düse verbundene Vakuumpumpe erzeugt einen Luftstrom, durch den lose anhaftende Schmutzpartikel von der Bauteiloberfläche abgelöst und mitgerissen werden (**Bild 5.17**). Die eingesaugten Verunreinigungen werden meist vor der Pumpe in einem Filter abgeschieden. Die verwendeten Filter sind in der Regel nicht oder nur begrenzt regenerierbar, so dass die aktiven Filterelemente von Zeit zu Zeit ausgetauscht und entsorgt werden müssen.

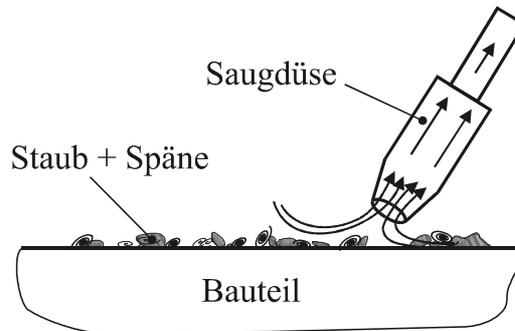


Bild 5.17 Verfahrensprinzip des Absaugens

Das Absaugen ist insbesondere zur Entfernung trockener Verschmutzungen, wie Staubpartikeln, Schleifstäuben oder Spänen, geeignet. Liegen auch flüssige oder pastöse Verunreinigungen vor, sind die Haftkräfte meist zu groß. Auch sehr kleine Partikel können in der Regel nicht abgesaugt werden, da der maximal erreichbare Unterdruck von 100 kPa nicht ausreicht, einen genügend scharfen Luftstrom zu erzeugen.

Im Werkstattbereich werden zumeist handgeführte Industriestaubsauger zur Reinigung von Böden, Maschinen, Betriebsmitteln oder Werkstücken von Staub, Spänen und Werkstattschmutz eingesetzt. In der Fertigung werden oftmals auch fest installierte Absaugeinrichtungen in der Nähe der Bearbeitungsmaschinen vorgesehen, an die verschiedene handgeführte Sauggarnituren oder auch ortsfest montierte Saugdüsen angeschlossen werden können. Neben diesen Einsatzfällen wird das Absaugen oftmals mit Reinigungsverfahren kombiniert, bei denen große Staubmengen anfallen, wie z. B. beim Druckluftstrahlen oder beim Reinigungsschleifen.

Referenzen: /cat99b/

Ordnungsnummer 2.1.1 Druckluftstrahlen

Unter Druckluftstrahlen wird die Reinigung von Oberflächen durch Einwirkung verschiedenster Strahlmittel verstanden, welche durch Druckluft in einer Düse beschleunigt und mit hoher Geschwindigkeit auf das zu reinigende Objekt gestrahlt werden. Durch Abrasion werden feste Verunreinigungen, Ablagerungen, Rost, Zunder und Anstriche beseitigt.

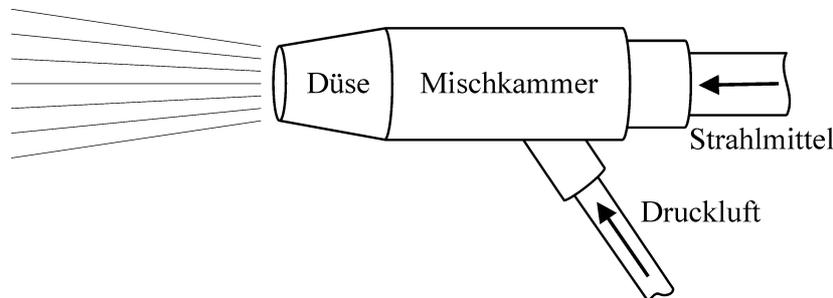


Bild 5.18 Schema des Druckluftstrahlens

Das Strahlen erfolgt in der Regel mit Drücken von 200 bis 300 kPa. Außer dem Strahlendruck bestimmen das Strahlmittel (genormt nach ISO 8504-2), der Strahlwinkel, die Bearbeitungszeit und die Wahl einer geeigneten Düse das Strahlergebnis. In der Regel handelt es sich um ein abtragendes Verfahren. Der Oberflächenangriff kann durch Wahl eines weichen Strahlmediums (z. B. Kunststoffgranulat oder Getreideschrot) jedoch gering gehalten werden.

Es können drei Verfahrensvarianten des Druckluftstrahlens unterschieden werden: Bei dem Injektorstrahlen wird das Strahlmittel durch Unterdruck aus einem Vorratsbehälter angesaugt, in der Strahlpistole dem Druckluftstrom zugegeben und auf das zu reinigende Teil gestrahlt. Bei dem Druckstrahlen befindet sich das Strahlmittel in einem mit Druckluft beaufschlagten Kessel; der Strahlpistole wird über ein Dosierventil ein Strahlmittel-Druckluft-Gemisch zugeführt. Bei dem Vakuum- oder Saugkopfstrahlen befindet sich die Strahldüse in einem Saugkopf, der dicht auf der zu reinigenden Oberfläche aufliegt und verwendetes Strahlmittel sowie abgelöste Verunreinigungen absaugt, so dass ein staubfreies Arbeiten möglich wird. Das Strahlmittel kann dabei durch Druckluft oder auch direkt durch den Unterdruck am Saugkopf beschleunigt werden.

Die Hauptanwendungsgebiete des Druckluftstrahlens sind die Reinigung, Entlackung und Korrosionsschutzvorbereitung von metallischen Werkstücken und Konstruktionen. Dabei kann, auch bei stark verrosteten Oberflächen, der Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 3 nach DIN 55928 bzw. ISO 8501 erreicht werden. Darüber hinaus kommt das Druckluftstrahlen auch beim Mattieren von Glas, bei der Entfernung von Lack- oder Farbbremsen auf Holz, bei der Entfernung von Ablagerungen auf Beton, bei der Reinigung von Fassaden, in der Lederindustrie und in vielen anderen Gewerbebranchen zur Anwendung.

Nach der Reinigung muss lose anhaftender Schmutz und liegen gebliebenes Strahlmittel durch Abfegen, Absaugen oder mit öl- und feuchtfreier Druckluft entfernt werden. Die gestrahlten Bauteile sind in aller Regel trocken. Die beim Strahlen entstehenden Stäube, bestehend aus von der Oberfläche gelösten Partikeln sowie gesplitterten Partikeln des Strahlmediums, müssen aus der Luft gefiltert werden, da sie im Allgemeinen gesundheitsschädigend wirken.

Referenzen: /cat99a/, /col94/, /NN96c/, /sch75/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.1.2 Schleuderstrahlen

Unter Schleuderstrahlen wird die Reinigung von Oberflächen durch Einwirkung verschiedenster Strahlmittel, welche von rotierenden Schaufelrädern mittels Fliehkraft auf das zu reinigende Teil geschleudert werden, verstanden (siehe **Bild 5.19**). Dabei können feste Verunreinigungen, Ablagerungen, Korrosionsrückstände, Zunder und Anstriche durch Abrasion restlos entfernt werden.

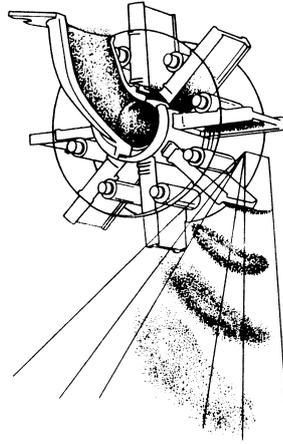


Bild 5.19 Schema des Schleuderstrahlens /NN96c/

Im Vergleich zum Druckluftstrahlen (Ordnungsnummer 2.1.1) kann mit dem Schleuderstrahlen meist eine höhere Strahlleistung aufgrund höherer Aufprallgeschwindigkeiten und eines höheren Strahlmittelvolumens erreicht werden. Darüber hinaus ist das Verfahren besser zu automatisieren. Da die Prozessparameter für jeden Anwendungsfall individuell einzustellen sind, ist das Schleuderstrahlen vornehmlich bei sich wiederholenden Arbeiten, bei der Reinigung sehr großer Flächen oder beim Einsatz in einer kontinuierlichen Fertigung wirtschaftlich.

Typische Anwendungsfälle sind das Entsanden, Entzundern, Entrostern, Entgraten, Entlacken und Vorbereiten von Platten, Trägern, Guss- oder Walzstahlerzeugnissen, wobei der Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 3 nach DIN 55928 bzw. ISO 8501 erreicht werden kann, auch wenn stark verrostete oder verzünderte Oberflächen vorliegen. Die zu verwendenden Strahlmittel sind nach ISO 8504-2 genormt. In der Regel werden harte metallische oder mineralische Strahlmittel eingesetzt, da diese hohe Abtragsleistungen ermöglichen. Zur Reinigung empfindlicher Oberflächen werden weiche Strahlmittel, wie Kunststoffgranulate, Getreideschrot oder Nussschalen, genutzt.

Schleuderstrahlanlagen werden in der Regel stationär und mit einem geschlossenen Strahlmittelkreislauf mit entsprechender Aufbereitung ausgeführt. Die Werkstücke werden entweder mit Muldenbändern, Roll- oder Hängebahnen durch die Anlage transportiert, oder sie rotieren manipulatorgeführt oder in Trommeln in einer Strahlkammer. Als Sonderbauformen werden auch bewegliche Anlagen zur Reinigung großer Flächen, wie Schiffswänden oder Öltanks, gebaut.

Die beim Schleuderstrahlen entstehenden Stäube müssen ausgefiltert werden, da gesundheitsschädliche Komponenten enthalten sein können. Die gestrahlten Oberflächen sind nach der Reinigung trocken und bis auf lose aufliegende Schmutzreste und Strahlmittelrückstände sauber.

Referenzen: /cat99a/, /bre99/, /kuc94/, /nei99/, /NN96c/, /oev98/, /sch75/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.1.3 Feuchtstrahlen

Das Feuchtstrahlen ähnelt dem Druckluftstrahlen (Ordnungsnummer 2.1.1). Ein Strahlmittel (genormt nach ISO 8504-2) wird durch Druckluft in einer Düse auf nahezu Schallgeschwindigkeit beschleunigt und auf die zu reinigende Fläche gestrahlt. Dem Strahlmittel-Luft-Gemisch wird vor der Düse eine geringe Menge Flüssigkeit, im Allgemeinen reines Wasser, zugeführt. Das Wasser wird fein zerstäubt und umhüllt die einzelnen Strahlmittelteilchen mit einem dünnen Flüssigkeitsfilm, wodurch die Entstehung von Staub nahezu vollständig unterbunden wird. Die Wassermenge sollte so eingeregelt werden, dass es gerade noch zu keiner Tropfenbildung kommt. Der Wasserverbrauch beträgt dann in der Regel zwischen 15 und 25 Liter pro Stunde.

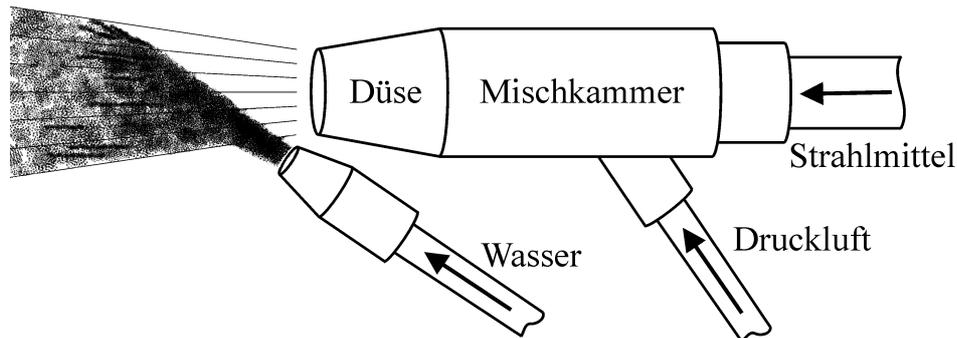


Bild 5.20 Schema des Feuchtstrahlens

Die Anwendungsgebiete des Feuchtstrahlens entsprechen weitgehend denen des Druckluftstrahlens. Dem Feuchtstrahlen wird dann der Vorzug gegeben, wenn eine starke Staubentwicklung in der Arbeitsumgebung vermieden werden soll.

Je nach Anlagenbauform können Werkstücke und Konstruktionen unterschiedlicher Größe und Stückzahl gereinigt werden. Feuchtstrahlanlagen werden, ihren vielfältigen Einsatzmöglichkeiten entsprechend, in handgeführte und automatisierte, mobile und stationäre sowie geschlossene und Freistrahlanlagen unterteilt.

Bei der Korrosionsschutzvorbereitung von Stahlflächen kann, unabhängig von dem vorher vorliegenden Rostgrad, der Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 3 nach DIN 55928 bzw. ISO 8501 erreicht werden. Die bearbeitete Oberfläche ist zunächst etwas feucht, trocknet jedoch in wenigen Minuten an der Umgebungsluft. Bei nicht rostfreien Werkstoffen kann es zur Flugrostbildung auf den Rauheitsspitzen kommen. Kann dies nicht toleriert werden, muss der Flüssigkeit ein geeigneter Rostinhibitor zugesetzt werden.

Referenzen: /cat99a/, /NN96c/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.2.1 Nassdruckluftstrahlen

Das Nassdruckluftstrahlen unterscheidet sich von dem Feuchtstrahlen (Ordnungsnummer 2.1.3) zum einen durch die Menge der eingesetzten Flüssigkeit und zum anderen durch das mit der Flüssigkeitszugabe verfolgte Ziel. Beim Feuchtstrahlen wird nur so viel Wasser eingesetzt, dass die Strahlmittelpartikel leicht benetzt werden und somit die Staubentstehung effektiv verhindert wird. Beim Nassdruckluftstrahlen wird erheblich mehr Flüssigkeit eingesetzt, um auf der einen Seite Staub abzubinden, auf der anderen Seite aber auch die Abrasionswirkung des Strahls abzuschwächen und somit eine schonendere Reinigung zu gewährleisten. Des Weiteren wird die Reinigung durch das Lösen von Verunreinigungen in der eingesetzten Flüssigkeit unterstützt. Die Flüssigkeit, im Allgemeinen sauberes Wasser, welches unter Umständen mit Rostinhibitoren versetzt wird, kann vor oder hinter der Strahldüse zugegeben werden, so dass sich ein Strom aus Druckluft, Wasser und Strahlmittel bildet, der auf die zu reinigende Oberfläche gerichtet wird (siehe **Bild 5.21**).

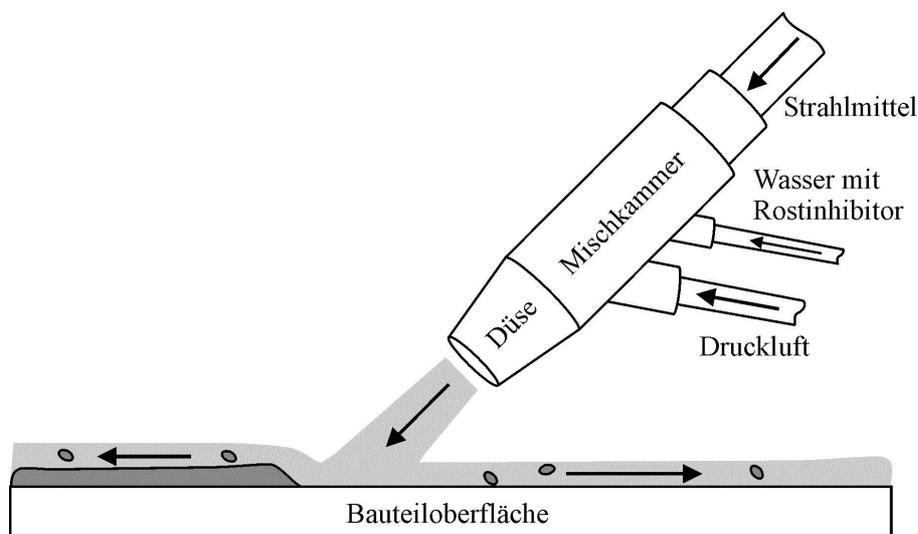


Bild 5.21 Schema des Nassdruckluftstrahlens

Das Nassdruckluftstrahlen kommt dort zum Einsatz, wo zum einen die Staubentwicklung auf ein Minimum reduziert werden muss und zum anderen empfindliche Oberflächen eine schonende Reinigung erfordern. Unabhängig von dem vorher vorliegenden Rostgrad kann der Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 3 nach ISO 8501 bzw. DIN 55928 erreicht werden. Polare Verunreinigungen, wie anhaftende Salze, können durch Lösen in der eingesetzten Flüssigkeit besonders effektiv entfernt werden.

Die gestrahlte Oberfläche ist im Allgemeinen mit Schlamm bedeckt, der mit einem Luft- oder Wasserstrahl entfernt werden muss. Anschließend muss die Oberfläche getrocknet werden. Als Strahlmittel kommen in der Regel nur Teilchen aus Nichteisen-Werkstoffen in Frage, da diese nicht im Strahlwasser korrodieren. Der Aufbereitungsaufwand für den Strahlschlamm ist meist sehr hoch, so dass eingesetzte Strahlmittel in der Regel nicht wiederverwendet werden.

Referenzen: /cat99a/, /NN96c/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.2.2 Schlammstrahlen

Bei dem Schlammstrahlen, in der Literatur teilweise auch als Druckstrahl läppen bezeichnet, wird eine Dispersion eines feinkörnigen Strahlmittels in Wasser oder in einer anderen Flüssigkeit mit hoher Geschwindigkeit auf die zu bearbeitende Oberfläche gestrahlt. In Abgrenzung zum Nassdruckluftstrahlen (Ordnungsnummer 2.2.1) und Feuchtstrahlen (Ordnungsnummer 2.1.3) wird bei diesem Verfahren keine Druckluft eingesetzt, sondern die Flüssigkeit selbst stellt das Wirkmedium zur Beschleunigung des Strahlmittels dar. Die Abgrenzung zum Druckflüssigkeitsstrahlen (Ordnungsnummer 2.3.1) erfolgt auf der einen Seite durch das weitaus geringere Druckniveau von wenigen hundert Kilopascal im Vergleich zu einigen zehn bis hundert Megapascal beim Druckflüssigkeitsstrahlen, auf der anderen Seite wird mit dem Schlammstrahlen ein anderer Strahlzweck verfolgt. Das Druckflüssigkeitsstrahlen dient dem Entschichten, Entrosten und Entzundern von Oberflächen. Das Schlammstrahlen hingegen wird als Verfahren zur Feinst- und Finishbearbeitung bei gleichzeitiger Reinigung der Oberfläche eingesetzt (siehe **Bild 5.22**). Das Verfahren führt zu einer geringen Oberflächenrauheit und ist aufgrund des flüssigen Wirkmediums gut zur Entfernung löslicher Verschmutzungen geeignet.

- Entzundern von Feinguss
- Mikro-Entgraten
- Feinentgraten von Thermoplasten
- Polieren von Oberflächen
- Verfestigen von Oberflächen
- Reinigen chirurgischer Instrumente



Bild 5.22 Einsatzbeispiele des Schlammstrahlens (Bild: /NN01a/)

Die gestrahlte Oberfläche muss nach der Bearbeitung mit frischem Wasser abgewaschen oder abgespritzt werden, um lose anhaftendes Strahlmittel und andere Rückstände zu entfernen. Das Wasser kann zur Bearbeitung rostempfindlicher Bauteile einen Rostinhibitor enthalten. Dabei ist darauf zu achten, dass der Inhibitor mit der nachfolgenden Beschichtung kompatibel ist. Vor dem Auftragen von Beschichtungen oder Lacken müssen die bearbeiteten Oberflächen getrocknet werden. Die Trocknung sollte durch öl- und feuchtfreie Druckluft oder saubere erwärmte Luft erfolgen.

Referenzen: /NN01a/, /NN96c/, /sch75/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.3.1 Druckflüssigkeitsstrahlen

Beim Druckflüssigkeitsstrahlen wird eine unter hohem Druck stehende Flüssigkeit, im Allgemeinen reines Wasser, in einem zumeist rotierenden Düsenkopf zu einem Bündel scharfer Strahlen beschleunigt. Das Strahlenbündel wird auf das Werkstück gerichtet und ist aufgrund der hohen Impulskräfte in der Lage, auch fest haftende Verschmutzungen oder Beschichtungen zu entfernen. Zur Verstärkung der Abrasionswirkung kann dem Flüssigkeitsstrom ein festes Strahlmittel beigemischt werden.

Beim Druckflüssigkeitsstrahlen werden, in Abgrenzung zum Schlämmstrahlen (Ordnungsnummer 2.2.2), deutlich höhere Drücke verwendet (siehe **Bild 5.23**). Dabei muss das Druckniveau an den zu bearbeitenden Werkstoff und die vorliegende Verschmutzung angepasst werden. Der hohe Wasserdruck erfordert entsprechende Schutzmaßnahmen.

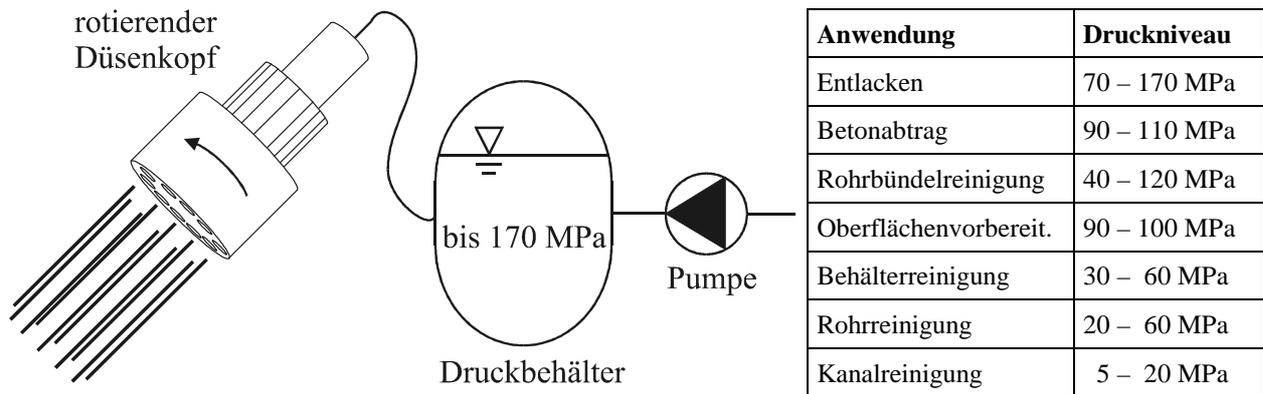


Bild 5.23 Schema des Druckflüssigkeitsstrahlens und übliche Druckniveaus

Aufgrund der starken Abrasionswirkung kann das Druckflüssigkeitsstrahlen für den schichtweisen Abtrag verschiedenster Verunreinigungen und Werkstoffe verwendet werden. Bei entsprechender Wahl der Prozessparameter können auch gezielt einzelne Schichten eines Beschichtungssystems entfernt werden. Typische Anwendungsfälle sind die Entfernung von Anstrichen von Schiffswänden, Stahlkonstruktionen oder Öltanks im Rahmen von Instandhaltungsarbeiten oder die Reinigung von Rohren, Behältern oder Kanälen von Anhaftungen und Verkrustungen.

Bei der Oberflächenvorbereitung für einen nachfolgenden Anstrich können die Vorbereitungsgrade Sa 3 auf Stahl der Rostgrade A und B und Sa 2 1/2 auf Stahl des Rostgrades D nach ISO 8501 bzw. DIN 55928 erreicht werden. Druckflüssigkeitsgestrahlte Oberflächen weisen einen besonders niedrigen Gehalt polarer Verunreinigungen auf, da diese im Strahlwasser gelöst werden. Nach der Reinigung ist eine Trocknung erforderlich. Auf nicht rostfreien Stählen kann es zur Bildung von Flugrost kommen. Dies kann verhindert werden, indem dem Strahlwasser ein geeigneter Rostinhibitor zugesetzt wird.

Referenzen: /boo97/, /har01/, /möb96/, /mom93/, /mom95/, /mom96/, /mom97/

Ordnungsnummer 2.3.2 Dampfstrahlen

Beim Dampfstrahlen wird Wasser mit einer Pumpe auf erhöhten Druck gebracht und auf Temperaturen über 100 °C erhitzt. Der beim Entspannen des Druckwassers in einer Düse entstehende Strahl aus Dampf und siedendem Wasser wird auf die zu reinigende Oberfläche gerichtet. Dampfstrahlgeräte verfügen zumeist über zwei verschiedenen Betriebsdrücke, um wahlweise einen Dampfsprühstrahl oder einen Druckspritzstrahl erzeugen zu können (siehe **Bild 5.24**).

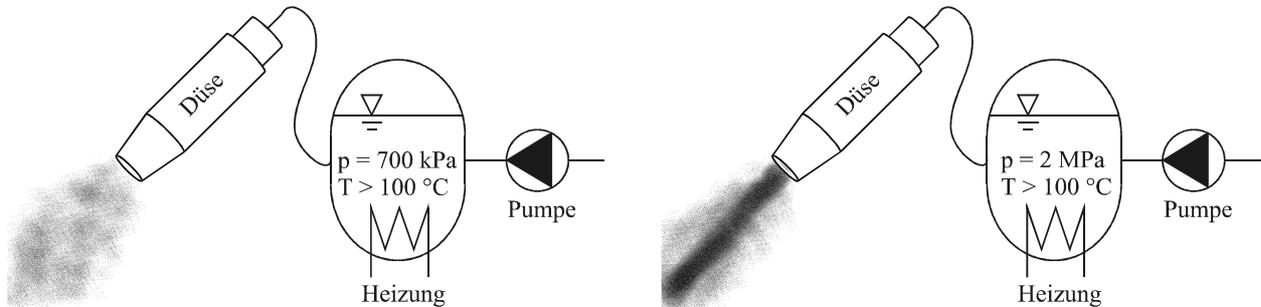


Bild 5.24 Schema des Dampfstrahlens; links: Dampfsprühstrahl; rechts: Druckspritzstrahl

Zur Erzeugung eines Dampfsprühstrahls wird in dem Dampfkessel ein Druck von 500 bis 900 kPa eingestellt und das Wasser durch eine Heizeinrichtung zum Sieden gebracht. Beim Austritt aus der Strahldüse entsteht so eine nebelartige Mischung aus Dampf und kochendem Wasser, die zur Reinigung empfindlicher Oberflächen oder zum Nachspülen eingesetzt werden kann.

Wird in dem Druckkessel ein höherer Druck von ca. 2 MPa eingestellt, entsteht ein Druckspritzstrahl, der mit hoher Geschwindigkeit auf die zu reinigende Oberfläche trifft. Der Druckspritzstrahl dient zum Ablösen hartnäckiger Verschmutzungen.

Das Dampfstrahlen wird vornehmlich dort eingesetzt, wo eine oberflächenschonende Reinigung und starke Spül- und Schwemmwirkung gefordert sind. Typische Einsatzfälle sind die Reinigung von Baumaschinen, Transportketten, Maschinentischen, Stahlkonstruktionen, Fußböden, Fenstern, Wandflächen und dergleichen. Der hohe Wärmeinhalt des Strahls heizt das Werkstück rasch auf und bringt Fette und Öle zum Verlaufen. Durch den Zusatz von Waschmitteln kann die Reinigungswirkung verstärkt werden. Phosphat-Zusätze können eingesetzt werden, um auf blanken Stahlteilen einen Korrosionsschutzfilm zu bilden. Die gereinigten Teile trocknen durch die gespeicherte Wärme in der Regel von selbst.

Dampfstrahlgeräte werden entweder als stationäre Anlagen mit Anschlüssen für einen entsprechenden Dampferzeuger realisiert, oder sie werden als mobile Einheiten ausgeführt, die mit einem eigenen Wasservorrat, einem Durchlauferhitzer und einer Pumpe ausgestattet sind und lediglich eine Stromversorgung benötigen.

Referenzen: /cat99a/, /kan01/, /wei69/

Ordnungsnummer 2.4.1 CO₂-Pellet-Strahlen

Das CO₂-Pellet-Strahlen, zum Teil auch als Trockeneisstrahlen bezeichnet, wurde als Ersatzverfahren für herkömmliches abrasives Reinigen und Entschichten durch Sandstrahlen, Schleifen oder Bearbeiten mit einer Drahtbürste entwickelt, besitzt aber auch darüber hinaus gehende Anwendungsmöglichkeiten. Als Strahlmittel werden gepresste Pellets aus CO₂-Schnee mit einem Durchmesser von 1 bis 6 mm, einer Länge von 5 bis 15 mm und einer Temperatur von ca. -79 °C verwendet. Die CO₂-Pellets werden mit Hilfe eines Druckluftstrahls auf nahezu Schallgeschwindigkeit beschleunigt und auf die zu reinigende Oberfläche gestrahlt (siehe **Bild 5.25**).

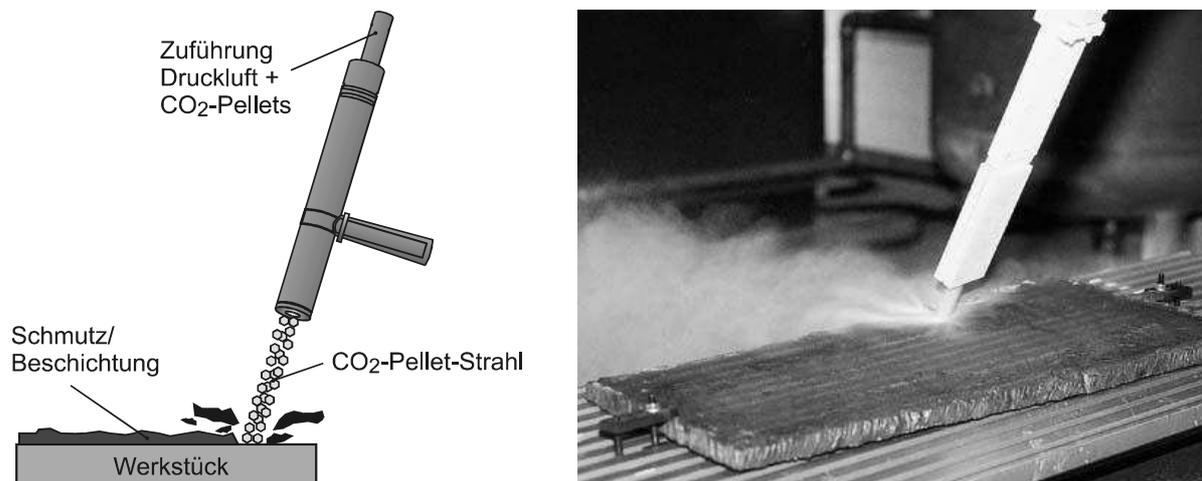


Bild 5.25 Schema des CO₂-Pellet-Strahlens (links) und Foto eines Einsatzfalls (rechts /vis98a/)

Die auftreffenden Pellets kühlen die Bauteiloberfläche stark ab und verspröden die Verschmutzungen. Aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten der zu entfernenden Schicht und des Grundmaterials entstehen Thermospannungen, die zur Rissbildung führen. Die CO₂-Pellets dringen in diese Risse ein und brechen Teile der Schmutzschicht durch Impulsübertragung los. Zudem sublimieren die Pellets bei Kontakt mit der warmen Bauteiloberfläche. Die durch die schlagartige Volumenvergrößerung um das 800-fache hervorgerufene Druckwelle erhöht die Reinigungsleistung zusätzlich. Dem thermischen Effekt wird ein Anteil von 60 % am Abtragsprozess zugerechnet, der Impulsübertragung 40 %. Obwohl das Verfahren sowohl zur Reinigung, als auch zur Entschichtung verwendet werden kann, arbeitet es nahezu abrasionsfrei, da die Pellethärte in etwa der Härte von Gips entspricht und somit vergleichsweise gering ist.

Die Anlagenkosten fallen beim CO₂-Pellet-Strahlen im Vergleich zum Sandstrahlen deutlich höher aus, dafür kann jedoch eine größere Flächenleistung realisiert werden, und es entfallen die Entsorgungskosten für gebrauchtes Strahlmittel. Kostenintensiv ist vor allem der Pellet-Erzeuger. Fallen Strahlarbeiten in nur geringem Umfang an, ist es oft sinnvoll, fertige Pellets zuzukaufen. In entsprechenden Thermobehältern bleiben diese ca. eine Woche verwendungsfähig.

Bei dem CO₂-Pellet-Strahlen handelt es sich um ein umweltfreundliches Verfahren. Das verwendete Kohlendioxid wird in der Regel durch Luftverflüssigung gewonnen und trägt daher nicht zum Treibhauseffekt bei. Die Staubbelastung am Arbeitsplatz sowie die Menge zu entsorgender Rückstände ist um ca. 70 % geringer als beim Sandstrahlen. Ein Nachteil des Verfahrens ist die hohe Lärmbelastung von 60 bis 130 dB(A), die das Tragen eines Gehörschutzes erforderlich macht. Zudem wird das Tragen von Kälteschutzkleidung empfohlen.

Referenzen: /cat00a/, /lin98/, /mck97/, /NN99b/, /rot99/, /uhl98/, /vis98a/, /vis98b/

Ordnungsnummer 2.4.2 CO₂-Schnee-Strahlen

Bei diesem Verfahren wird flüssiges CO₂ bei Raumtemperatur und einem Druck von mindestens 5,5 MPa in einer Überschalldüse entspannt. Das CO₂ kühlt bei der Expansion schnell ab (Übergang von 1 nach 2 im Phasendiagramm in **Bild 5.26**), und es bildet sich ein aus CO₂-Schnee und gasförmigem CO₂ bestehender Hochgeschwindigkeitsstrahl, der auf die zu reinigende Oberfläche gerichtet wird. Die Verunreinigungen werden sowohl durch Impulsübertragung beim Aufprall der CO₂-Partikel entfernt, als auch in der flüssigen Phase gelöst, welche aufgrund des hohen Aufpralldrucks zwischen CO₂-Partikel und Oberfläche entsteht. Die Reinigung wird durch das Versproden des Schmutzes aufgrund der niedrigen Temperaturen begünstigt.

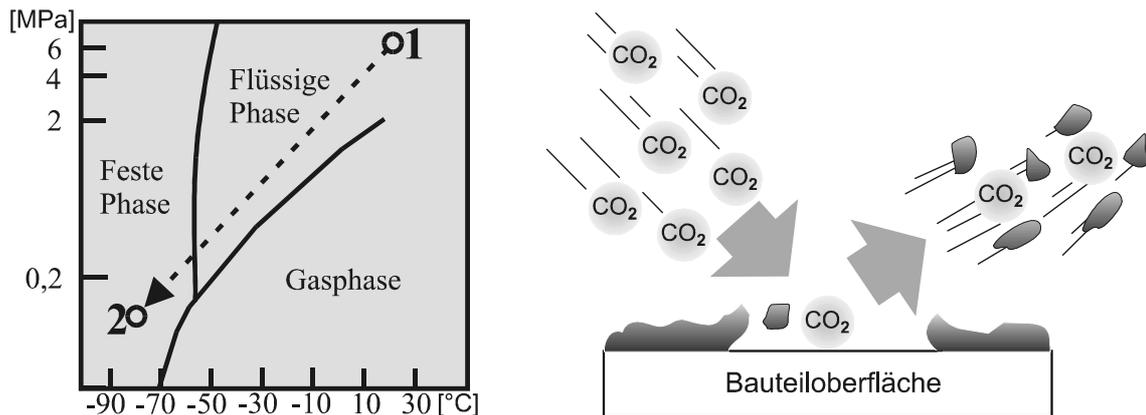


Bild 5.26 Phasenumwandlung und Reinigungsmechanismus beim CO₂-Schnee-Strahlen

Die Einsatzmöglichkeiten dieses noch relativ neuen Reinigungsverfahrens sind bislang noch nicht erschöpfend untersucht worden. Allgemein handelt es sich um ein Feinreinigungsverfahren zur Behandlung gut zugänglicher Flächen. Da das Verfahren nicht abrasiv wirkt, können auch sehr empfindliche Oberflächen gestrahlt werden. Entfernt werden können organische und anorganische partikuläre Verschmutzungen, dünne Ölfilme, Fingerabdrücke und Flussmittelrückstände. Fette, dicke Ölfilme, Farben oder Rost können hingegen nicht abgereinigt werden. In diesen Fällen muss zur Vorreinigung ein anderes Verfahren vorgeschaltet werden. Typische Einsatzgebiete sind die Reinigung von Spiegeln, Kunststoff-Spritzguss-Formen, optischen Filtern, DVD-Stampfern, Bondingpads, Halbleiterelementen, Platinen und Wafern.

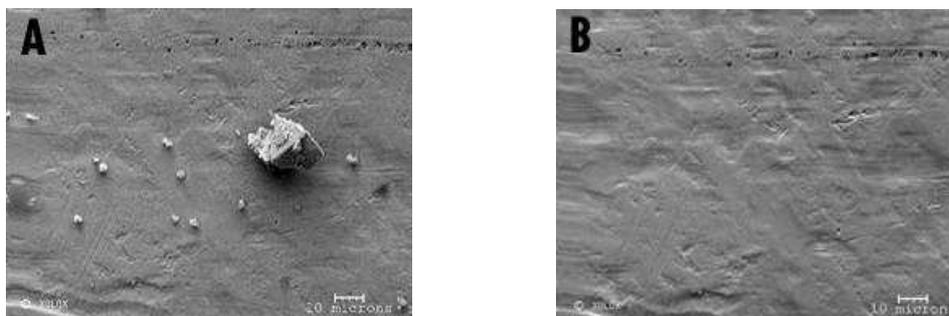


Bild 5.27 REM-Aufnahme einer Fläche vor (A) und nach (B) dem CO₂-Schnee-Strahlen /jac99b/

Eine CO₂-Schnee-Strahlanlage besteht im einfachsten Fall lediglich aus einer CO₂-Flasche und einer Strahlpistole. Hinzu kommen in den meisten Fällen jedoch Zusatzeinrichtungen zum Bauteilhandling, Filter zur Reinigung des flüssigen Kohlendioxids vor der Verwendung und Absauganlagen mit laminaren Gasströmungen zum definierten Abtransport der Verunreinigungen.

Referenzen: /cat00a/, /hil94/, /jac99b/, /kan01/, /NN01d/, /NN99a/, /NN99c/, /sch01/, /wil98/

Ordnungsnummer 3.0.1 Abwischen

In vielen Einsatzfällen genügt es, eine zu reinigende Oberfläche mit einem trockenen Tuch abzuwischen. Bei leicht entfernbar Verschmutzungen, wie Staub, Schmutzwasser o. ä., können weiche Tücher eingesetzt werden. Bei stärker anhaftenden Verunreinigungen müssen härtere Tücher oder Schwämme, bis hin zu Stahlwolle, verwendet werden. Dabei muss jedoch die Abrasionsempfindlichkeit der zu reinigenden Oberfläche beachtet werden, welche die Verwendbarkeit harter Schwämme oder Tücher oftmals stark einschränkt. Wird beim Wischen eine Reinigungsflüssigkeit eingesetzt, steht meist die chemische Wirkung des Reinigers im Vordergrund. Diese Verfahrensvariante wird als "Wischreinigung" bezeichnet und unter den Nassverfahren eingeordnet (Ordnungsnummer 1.3.2).

Für die Reinigungswirkung beim Abwischen ist vornehmlich die mechanische Reibbewegung des Wischtuches auf der Oberfläche verantwortlich. Dabei müssen die Bindungskräfte zwischen den Verschmutzungen und der Bauteiloberfläche aufgehoben werden, um die abgelösten Verschmutzungen anschließend durch das Wischtuch aufnehmen zu können. Kleine Staubpartikel werden durch Adhäsionskräfte an die Fasern des Wischtuches gebunden. Flüssige Verunreinigungen werden zusätzlich durch Kapillarkräfte in das Tuch hineingezogen. Die Wischreinigung ist daher bei der Entfernung flüssiger Verunreinigungen äußerst effektiv und wird auch häufig zur Bauteiltrocknung eingesetzt. Ist das Wischtuch so weit mit Flüssigkeit oder Schmutz gesättigt, dass keine effektive Reinigung mehr möglich ist, muss es entsorgt werden. Daher spielt neben der geforderten Härte, Rauheit und Saugkraft auch die Eignung zur Entsorgung eine große Rolle bei der Auswahl eines geeigneten Wischtuchs oder Schwamms.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Reinigung • Kein teures Equipment nötig • Geeignet für große Schmutzmengen • Geeignet für empfindliche Oberflächen • Sehr effektiv bei flüssigem Schmutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsintensiv • Schlecht zu automatisieren • Große Müllmenge (gebrauchte Tücher) • Unvollständige Reinigung • Ineffektiv bei fest haftendem Schmutz

Bild 5.28 Vor- und Nachteile des Abwischens mit einem trockenen Tuch

Das Abwischen wird in aller Regel manuell durchgeführt und eignet sich daher am besten für unregelmäßig auftretende oder einmalige Reinigungsarbeiten, wie sie z. B. bei Reparaturen von Maschinen, Betriebsmitteln und Anlagen auftreten. Der Einsatz ist insbesondere dann sinnvoll, wenn das zu reinigende Bauteil sehr groß ist, das Bauteil nicht bewegt werden kann, nur bestimmte Teile einer bereits montierten Baugruppe gereinigt werden müssen oder das Bauteil durch Anwendung anderer Reinigungsverfahren oder aggressiver Reinigungsmittel beschädigt werden könnte.

Referenzen: /cat00b/, /je199/, /NN01d/

Ordnungsnummer 3.0.2 Bürsten/Fegen

Unter dem "Bürsten/Fegen" wird in dieser Arbeit das mechanische Abstreifen oder Abschleifen von festen Verunreinigungen durch Borsten verstanden. Zur Entfernung leicht haftender Verschmutzungen, wie Stäuben oder Spänen, kommen dabei Bürsten oder Besen mit weichen Borsten aus Kunststoff- oder Naturfasern zum Einsatz. Bei fest haftenden Verunreinigungen, wie Oxiden oder Lacken, werden harte, steife Borsten aus Stahldraht o. ä. verwendet. Wird zur Unterstützung ein Reinigungsmittel eingesetzt, steht meist die chemische Wirkung des Reinigers im Vordergrund. Diese Verfahrensvariante wird als "Bürstreinigung" bezeichnet und unter den Nassverfahren eingeordnet (Ordnungsnummer 1.3.1).

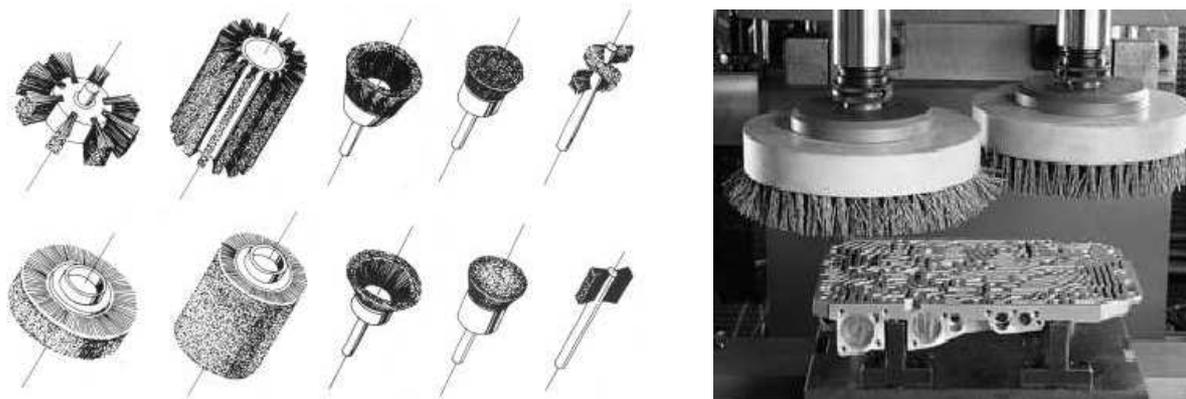


Bild 5.29 Bürstenformen nach /sch75/ und Einsatzbeispiel /rot98/

Das Fegen erfolgt in der Regel von Hand mit einem Besen. Der Besen wird über die zu reinigende Oberfläche geführt, und anhaftende Verunreinigungen werden abgestreift. Da die Andruckkraft und Bewegungsgeschwindigkeit eines Besens relativ gering sind, kann das Fegen nur bei locker haftendem Partikelschmutz eingesetzt werden. Durch die Verwendung mehr oder weniger harter bzw. steifer Borsten kann der Besen an die Empfindlichkeit der zu reinigenden Oberfläche angepasst werden.

Zum Entfernen fest haftender Verschmutzungen werden Bürsten mit Borsten aus Metalldrähten, Natur- oder Kunststofffasern eingesetzt. Zur Erhöhung der abrasiven Wirkung können Borsten aus Kunststofffasern mit grobem Sand imprägniert werden. Die Relativbewegung zwischen den Borsten und der Bauteiloberfläche wird in der Regel durch eine Rotationsbewegung der Bürste erreicht. Die Führung der Bürste über das Bauteil kann manuell oder automatisiert erfolgen. Die Reinigungswirkung an schwer zugänglichen Stellen, wie Bohrungen, Sacklöchern, Nuten und Ecken, hängt vornehmlich von der Anpassungsfähigkeit der Bürste an die Werkstückgeometrie und dem Druck der Bürste auf das Werkstück ab. Gereinigt werden können alle Materialien und Oberflächen, die von der gewählten Bürste nicht beschädigt werden bzw. bei denen ein geringer Oberflächenabtrag toleriert werden kann.

Sowohl beim Bürsten, als auch beim Fegen kann es zum Teil zu einer starken Staubentwicklung kommen. In diesen Fällen sind entsprechende Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen. Typische Einsatzfälle sind die Reinigung von Böden, Gussstücken, Stahlbändern, Profilen oder Rohren sowie die Entlackung und Entrostung von Stahlkonstruktionen.

Referenzen: /bra75/, /bur91/, /jel99/, /NN96c/

Ordnungsnummer 3.0.3 Abkratzen/Abschaben

Das Abkratzen/Abschaben ist ein mechanisches Reinigungsverfahren, bei dem anhaftende Feststoffe durch Unterfahren mit einem Werkzeug abgehoben und entfernt werden (siehe **Bild 5.30**). Das Abkratzen/Abschaben kann mit einem Spachtel oder Schaber von Hand oder auch mit elektrisch oder pneumatisch betriebenen Kratz- oder Schabwerkzeugen erfolgen.

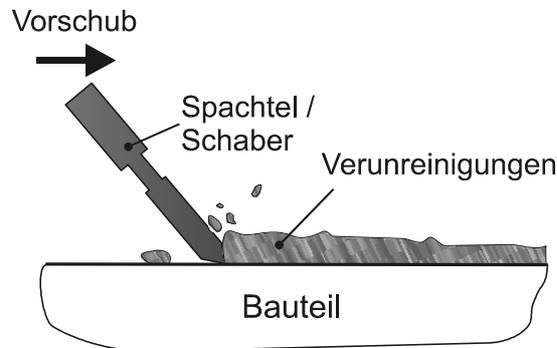


Bild 5.30 Verfahrensprinzip des Abkratzens/Abschabens

Das Abkratzen/Abschaben wird zum Entfernen hartnäckig anhaftender fester Verunreinigungen an glatten Oberflächen eingesetzt. Flüssige Verunreinigungen können nur unvollständig entfernt werden. Typische Einsatzgebiete sind die Reinigung von Fußböden und Wänden von anhaftendem Leim, Harz, Zement oder Kleber sowie die Entfernung von Farb- und Lackschichten von Anlagen und Installationen. Stark korrodierte Metalloberflächen können durch Abschaben zumindest teilweise entrostet werden; Rohrleitungen können durch das Hindurchziehen von Kratzwerkzeugen wieder durchgängig gemacht werden.

Bei dem Abkratzen/Abschaben handelt es sich um ein arbeitsaufwändiges Verfahren mit nur geringen Werkzeugkosten. Daher beschränkt sich der Einsatz zumeist auf selten oder einmalig durchzuführende Reinigungsarbeiten, wie sie z. B. bei der Instandhaltung oder Reparatur von Anlagen und Installationen auftreten.

Beim Arbeiten mit elektrisch oder pneumatisch betriebenen Schabern kann es zu einer starken Lärmentwicklung kommen. In diesen Fällen empfiehlt sich das Tragen eines Gehörschutzes. Das Tragen einer Schutzbrille ist ebenfalls sinnvoll, da Partikel unkontrolliert abgehoben und weggeschleudert werden können. Bei einigen Verunreinigungsarten kann es zudem zu einer Staubeentwicklung kommen. Werden die entstehenden Stäube nicht abgesaugt, ist zumindest das Tragen eines Mundschutzes angeraten.

Referenzen: /NN98c/

Ordnungsnummer 3.0.4 Reinigungsschleifen

Bei dem Reinigungsschleifen handelt es sich um ein Grobreinigungsverfahren, mit dem große Mengen an Verschmutzungen in kurzer Zeit und mit relativ geringem anlagentechnischen Aufwand entfernt werden können. Allerdings wird mit den Verunreinigungen auch immer eine gewisse Menge des Grundmaterials abgetragen. Kann ein derartiger Werkstoffabtrag nicht toleriert werden, muss auf andere Reinigungsverfahren zurückgegriffen werden.

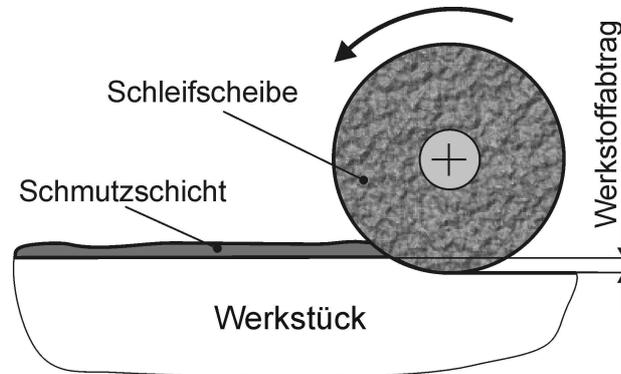


Bild 5.31 Schema des Reinigungsschleifens mit rotierender Schleifscheibe

Das Reinigungsschleifen wird zum Entfernen hartnäckiger Anhaftungen, wie Zunder, Rost, Farben, Oxidschichten u. ä., an Profilen, flächigen Bauteilen, Gestellen, Vorrichtungen, Böden, Anlagen oder Gussstücken verwendet. Dabei kommen vornehmlich elektrisch oder pneumatisch betriebene, handgeführte Schleifgeräte zum Einsatz. Je nach zu reinigender Kontur können als Schleifkörper Schleifscheiben, Schleifteller, Schleifbänder oder Schleifdorne verwendet werden. Schwer zugängliche Stellen, wie enge Bohrungen, Sacklöcher oder Nuten, können mit diesen Geräten jedoch nicht effektiv gereinigt werden.

Beim Reinigungsschleifen kann es zur Entwicklung von gesundheitsschädlichen Stäuben kommen. In der Regel sollte daher ein Mundschutz getragen werden. Für die Reinigung von Böden und großen Flächen werden auch fahrbare Schleifmaschinen mit integrierter Absaugung angeboten. Aufgrund der Lärmentwicklung beim Schleifen sollte zudem ein Gehörschutz getragen werden. Zum Schutz vor umherfliegenden Schmutzpartikeln und Funken sollten auch eine Schutzbrille und Schutzhandschuhe zur Standardausrüstung der Mitarbeiter gehören. Erfolgen nach dem Reinigungsschleifen weitere Reinigungsschritte, müssen die durch das Schleifen entstehenden Stäube zusätzlich berücksichtigt werden.

Referenzen: /bra75/, /bur91/

Ordnungsnummer 3.0.5 Ausklopfen

Beim Ausklopfen wird durch ein geeignetes Klopfwerkzeug ein Impuls auf das zu reinigende Werkstück übertragen, wodurch dieses kurzzeitig stark beschleunigt und zum Schwingen angeregt wird. Verunreinigungen werden dabei abgelöst, wenn die Massenträgheit der Verunreinigungen die Haftkraft zwischen Werkstück und Verschmutzung übersteigt.

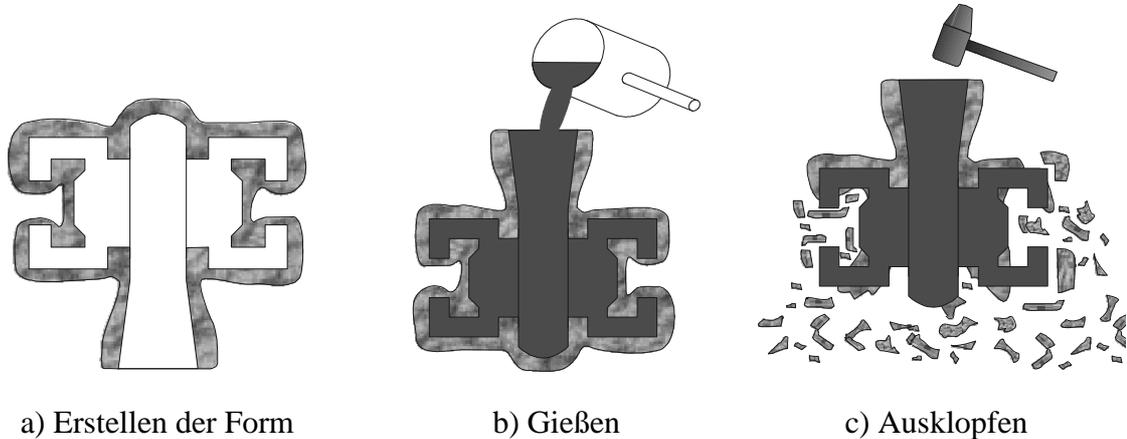


Bild 5.32 Ausklopfens von Gussstücken

Es handelt sich bei dem Ausklopfen um ein Grobreinigungsverfahren, mit dem große Verschmutzungsmengen in sehr kurzer Zeit und mit geringem anlagentechnischen Aufwand entfernt werden können. Es wird daher zumeist als ein erster Vorreinigungsschritt durchgeführt, an den sich weitere Reinigungsschritte anschließen.

Die typischen Einsatzbereiche des Verfahrens sind das Putzen von Gussstücken, das Reinigen von Teppichen und Textilien, die Grobreinigung von gebrauchten Filtern, das Entfernen von Fliesen und Ausmauerungen und das Reinigen von Verschalungselementen. Das Ausklopfen erfolgt zumeist von Hand mit einfachen Klopfwerkzeugen, z. B. Hämmern. In Gießprozessen, die für hohe Stückzahlen ausgelegt sind, erfolgt das Ausklopfen zum Teil auch automatisiert.

Beim manuellen Ausklopfen ist das Tragen von Atemschutz empfehlenswert, da große Mengen Staub anfallen können. Zudem ist beim Ausklopfen metallischer Werkstücke das Tragen eines Gehörschutzes erforderlich, da oftmals ein erheblicher Lärmpegel entsteht.

Referenzen: /gri00/, /NN02d/

Ordnungsnummer 3.0.6 Schleudern

Die Handhabung von Kleinteilen erfolgt oftmals als Schüttgut. In den inneren Hohlräumen einer Bauteilschüttung kann eine erhebliche Menge flüssiger Verunreinigungen, wie Spanöle oder Läppmittel aus vorhergehenden Bearbeitungsschritten, aufgenommen werden. Wird diese große Schmutzmenge in ein Reinigungsbad eingetragen, ergeben sich nur geringe Badstandzeiten. Es empfiehlt sich in solchen Fällen, eine Vorentölung durch Schleudern oder Ausdrücken (Ordnungsnummer 3.0.8) vorzuschalten.

Beim Schleudern kommen meist Sieb- oder Lochblechtrommeln zum Einsatz. Die auszuschleudernde Flüssigkeit haftet aufgrund von Adhäsion an den Bauteilen an und wird zum Teil durch Kapillarkräfte in der Schüttung gehalten. Des Weiteren ist aufgrund von Viskosität und Oberflächenspannung ein Mindestdruck erforderlich, um die Flüssigkeit durch die Siebtrommel zu drücken. Diese Widerstände müssen durch Fliehkräfte überwunden werden (siehe **Bild 5.33**).

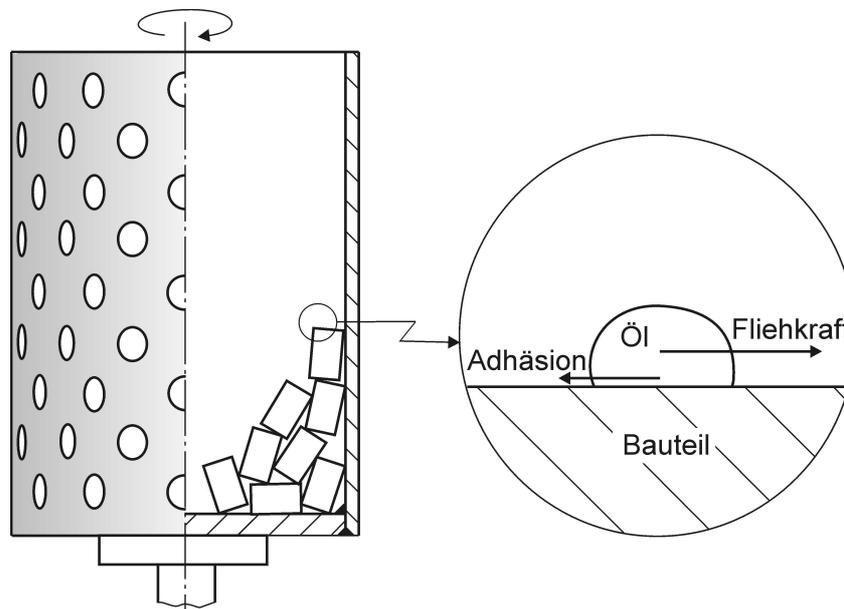


Bild 5.33 Verfahrensprinzip des Schleuderns von Bauteilen in einer Lochblechtrommel

Werden konische Trommeln mit sich nach oben erweiterndem Querschnitt eingesetzt, kann bei richtiger Wahl der Drehzahl ein Ausschleudern auch entlang einer nicht perforierten Trommelwand erfolgen. Dies ist von Vorteil, wenn die zu reinigenden Bauteile dazu neigen, in Sieben zu verhaken, wie dies zum Beispiel bei Drahtbiegeteilen der Fall sein kann.

Das Schleudern wird in der Regel zur Zwischenreinigung bei der spanenden Fertigung oder als Vorentölungsschritt zur Schonung nachfolgender Reinigungsbäder bei einer Endreinigung eingesetzt. Die ausgeschleuderten Bearbeitungsflüssigkeiten, wie Läppmittel, Kühlschmierstoffe oder Spanöle, können in der Regel, nach einer Filterung, wiederverwendet werden. Auch beim Schleudern mit sehr hohen Drehzahlen verbleibt ein dünner Schmutzfilm auf den Teilen, so dass keine hohen Reinheitsgrade erreicht werden können.

Referenzen: /ayr94/, /sch00/, /sch82/, /sch83/, /sch95/, /whi85/

Ordnungsnummer 3.0.7 Vibrationsreinigung

Bei der Vibrationsreinigung werden Bauteile einzeln aufgespannt und durch Schwingungsanregung in Resonanz versetzt. Dabei können auch sehr schwere Teile mit nur geringem Kraftaufwand hoch beschleunigt werden. Flüssige Verunreinigungen verlieren aufgrund ihrer Massenträgheit die Haftung zur Oberfläche, werden abgeschleudert oder sammeln sich an den Schwingungsknoten, an denen die Schwingungsamplitude null wird. Durch dort positionierte Düsen können sie problemlos abgesaugt werden. Während der ca. 10 s dauernden Reinigung können 95 bis 98 % der anhaftenden Flüssigkeiten entfernt werden. Handelt es sich um Bearbeitungshilfsstoffe, können diese in der Regel wiederverwendet werden.

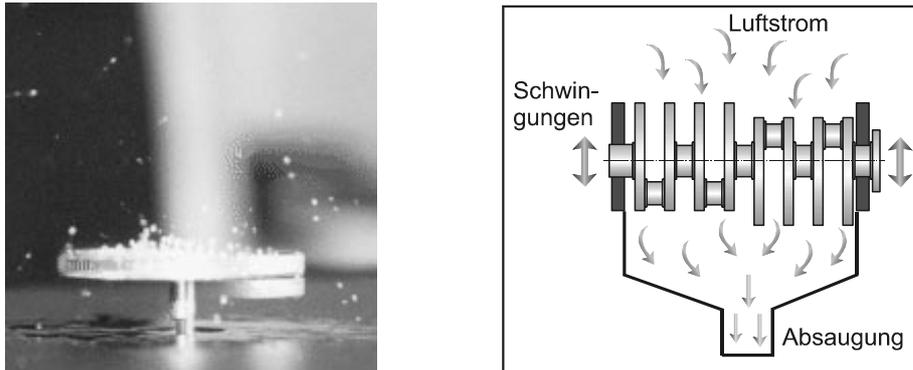


Bild 5.34 Verfahrensprinzip der Vibrationsreinigung und Anwendungsbeispiel nach /NN02b/

Da mit der Vibrationsreinigung keine sehr hohen Reinheitsgüten erreicht werden können, kann das Verfahren entweder zur Zwischenreinigung zwischen spanenden Bearbeitungsschritten oder als Vorreinigungsschritt zur Minimierung des Schmutzeintrags in nachfolgende Reinigungsbäder eingesetzt werden. Aufgrund der Schwierigkeiten der Berechnung der erforderlichen Vibrationsfrequenzen zur optimalen Reinigung ist das Verfahren bislang nur für relativ einfache, weitgehend rotationssymmetrische Teile ohne Hohlräume und Hinterschneidungen, wie Zahnräder, Kugellager, Ringe, Kurbelwellen, Getriebewellen oder Buchsen, geeignet.

Bei der Vibrationsreinigung handelt es sich um ein noch junges Verfahren. Der Erfinder meldete das Verfahren 1996 zum Patent an (DE 19633771, DE 10001746) und entwickelte es in den letzten Jahren bis zur Einsatzreife. Erste Vibrationsreinigungsanlagen wurden 1997 bei einem großen deutschen Kfz-Hersteller in eine Prozesslinie für die Fertigung von Kurbelwellen integriert.

Referenzen: /NN02b/

Ordnungsnummer 3.0.8 Ausdrücken

Die Handhabung von Kleinstteilen mit Hauptabmessungen im Bereich einiger weniger Millimeter erfolgt zumeist als Schüttgut. Werden bei der Fertigung Bearbeitungsfluide, wie Lämpmittel, Kühlschmierstoffe oder Schleifpasten, eingesetzt, kann eine erhebliche Menge dieser Flüssigkeiten in den inneren Hohlräumen der Schüttung aufgenommen und dort durch Kapillarkräfte gehalten werden. Modellrechnungen an Schüttungen kleiner kugelförmiger Bauteile ergeben dabei eine Flüssigkeitsaufnahme von bis zu 40 Prozent des Schüttvolumens. Durch Ausdrücken oder Schleudern (Ordnungsnummer 3.0.6) kann diese Schmutzmenge auf einfache Weise verringert werden, so dass nachfolgende Reinigungsbäder erheblich entlastet werden. Während das Schleudern auch bei größeren Bauteilen eingesetzt werden kann, beschränkt sich der Einsatz des Ausdrückens auf Schüttungen von Kleinstteilen.

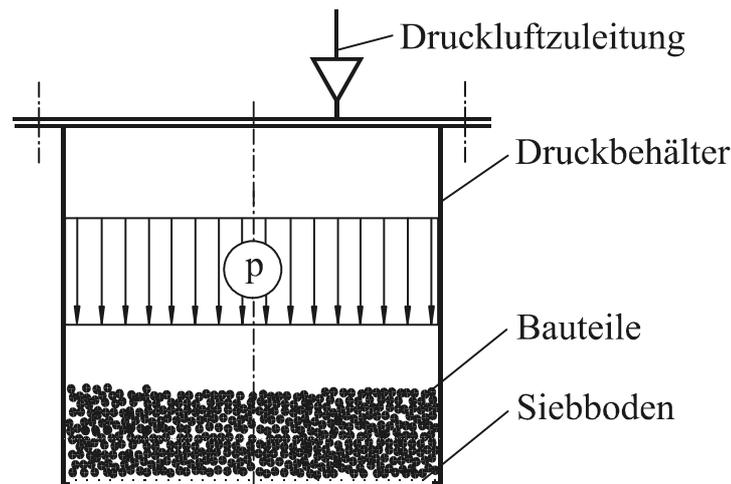


Bild 5.35 Verfahrensprinzip des Ausdrückens

Zum Ausdrücken werden die Bauteile in einen Behälter mit Siebboden geschüttet. Auf den Behälter wird ein Deckel gesetzt, und es wird, z. B. durch Einleitung von Pressluft, ein Überdruck erzeugt (siehe **Bild 5.35**). Alternativ kann die Flüssigkeit auch durch den Siebboden abgesaugt werden. Im Anfangszustand ist das Porensystem der Schüttung mit Flüssigkeit gefüllt, die durch Kapillarkräfte am Ausfließen gehindert wird. Wirkt nun eine äußere Kraft in Form eines höheren Drucks auf der Oberseite der Schüttung, werden die Kapillarkräfte überwunden und die Flüssigkeitssäulen in den einzelnen Kapillaren der Schüttung zurückgedrängt. Es fließt nun so lange Flüssigkeit durch den Siebboden aus, bis die hydraulischen Flüssigkeitsverbindungen im Inneren der Schüttung abreißen und der Überdruck ungehindert entweichen kann. Nach diesem nur ca. eine Sekunde dauernden Vorgang liegen in der Schüttung nur noch isolierte Flüssigkeitsinseln und an den Bauteilen adsorbierte Flüssigkeit vor. Die verbleibende Restmenge beträgt nach Modellrechnungen an Kugelschüttungen nur noch ca. 8 % der Ausgangverschmutzung. Die ausgedrückte Flüssigkeit kann, nach einer Filterung, zumeist wiederverwendet werden. Das Ausdrücken kann auch zur Vortrocknung nach einer Nassreinigung eingesetzt werden.

Bei dem Ausdrücken handelt es sich aufgrund der engen Einsatzgrenzen um ein nur selten eingesetztes Reinigungsverfahren.

Referenzen: /sch82/, /sch83/, /whi85/

Ordnungsnummer 3.1.1 Gleitschleifen

Bei dem Gleitschleifen handelt es sich um ein mechanisch-chemisches Verfahren zur gleichzeitigen Reinigung, Entgratung und Oberflächenveredelung. Dabei werden die Werkstücke zusammen mit Schleifkörpern (Chips) in einem Arbeitsbehälter umgewälzt. Meist wird ein Bearbeitungsfluid (Compound) zugegeben, um die Reinigung und Bearbeitung chemisch zu unterstützen. Metallabtrag, Schleifbild und Oberflächenrauheit hängen in erster Linie von der Zusammensetzung, Größe und Geometrie der Chips ab, während die Reinigungswirkung vornehmlich durch den Compound bestimmt wird. Beruht die Reinigung ausschließlich auf der chemischen Wirkung des Reinigungsfluids und werden keine Schleifkörper eingesetzt, entspricht das Verfahren der Trommelreinigung (Ordnungsnummer 1.3.3). Je nach Erzeugung der Relativbewegung zwischen Werkstücken und Schleifkörpern können vier Verfahrensvarianten unterschieden werden.

Beim **Schwerkraftschleifen** werden zur Umwälzung der Werkstücke und Schleifkörper umlaufende polygonale Trommeln bzw. Glocken verwendet. Der Inhalt der Trommel wird aufgrund der Drehbewegung an einer Seite ständig angehoben und gleitet unter Schwerkraftwirkung nach unten ab. Die Intensität des Schleifvorgangs ist drehzahl- und füllmengenabhängig.

Beim **Vibrationsschleifen** wird das Werkstück-Schleifmittel-Gemisch durch Vibration des Behälters umgewälzt. An dem Behälter befinden sich angetriebene Unwuchten, die den Behälter in eine lineare, kreis- oder ellipsenförmige Schwingbewegung versetzen. Typische Anlagenbauformen sind Rundvibratoren zur Reinigung von Kleinteilen, Trogvibratoren für große Einzelstücke und Spiralvibratoren für einen automatisierten Betrieb.

Beim **Fliehkraftschleifen** werden die Werkstücke und Schleifkörper in eine Trommel mit senkrecht stehender Drehachse gegeben. Die Wand der Trommel ist fest mit dem Gestell verbunden, der Trommelboden rotiert. Das Werkstück-Schleifkörper-Gemisch wird aufgrund von Fliehkräften nach außen beschleunigt, an der Wand hoch gedrückt und umgewälzt. Bei dieser Verfahrensvariante können höchste Schleifleistungen erreicht werden.

Das **Schleppscheifen** ist eine Verfahrensvariante, mit der ein Gleitschleifen von hochwertigen und beschädigungsempfindlichen Bauteilen möglich ist. Dabei werden die Werkstücke an rotierenden Spindeln befestigt und durch ein ruhendes Polierkörperbett geführt. Auf diese Weise können auch komplexe Geometrien mit hoher Schleifleistung gleichmäßig bearbeitet werden.

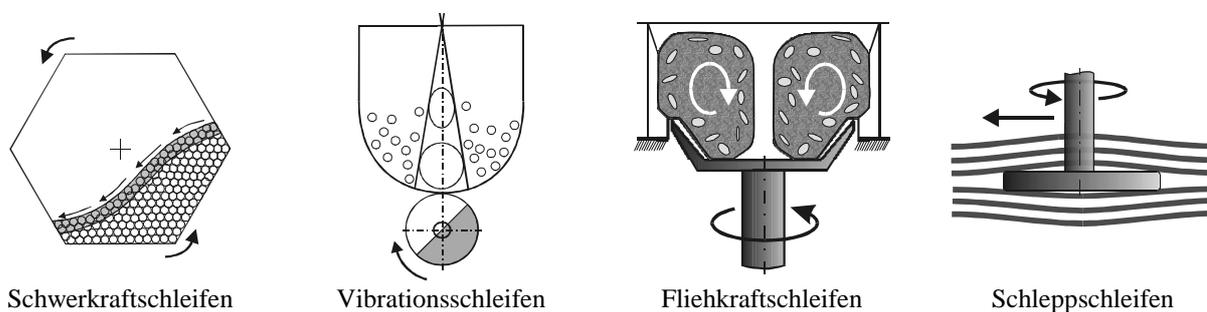


Bild 5.36 Verfahrensvarianten des Gleitschleifens

Durch Gleitschleifen können sowohl lose anhaftender Schmutz als auch fest haftende Schichten von nahezu beliebigen Werkstoffen entfernt werden. Dabei können hochreine Oberflächen mit geringer Rauhtiefe erzeugt werden. Da es sich beim Gleitschleifen um ein abtragendes Verfahren handelt, muss mit Kantenverrundungen und Geometrieänderungen gerechnet werden.

Referenzen: /bei90/, /bei99/, /bur91/, /hin80/, /jam93/, /thi92/, /prü94/, /prz87/, /sch75/

Ordnungsnummer 4.1.1 Wirbelbettreinigung

Eine Wirbelbetтанlage besteht aus einem mit kalibriertem Quarzsand oder einem anderen feinkörnigen anorganischen Reinigungsmittel gefüllten Becken, dessen Bodenplatte mit Düsen durchsetzt ist. Durch das Einblasen eines Brenngas-Luft-Gemisches wird der Sand auf eine Temperatur von 300 °C – 450 °C gebracht und aufgewirbelt. In die hierbei entstehende turbulente Phase mit flüssigkeitsähnlichen Eigenschaften werden die zu reinigenden Bauteile gehängt (siehe **Bild 5.37**). Organischer Schmutz, Lackierungen oder Kunststoffschichten werden aufgrund der hohen Temperatur zersetzt oder vergast. Die entstehenden Schwelgase müssen in eine Nachverbrennungszone abgesaugt und anschließend gefiltert werden. Eine zusätzliche mechanische Reinigungswirkung ergibt sich durch das Scheuern der Sandpartikel an den Bauteilen.

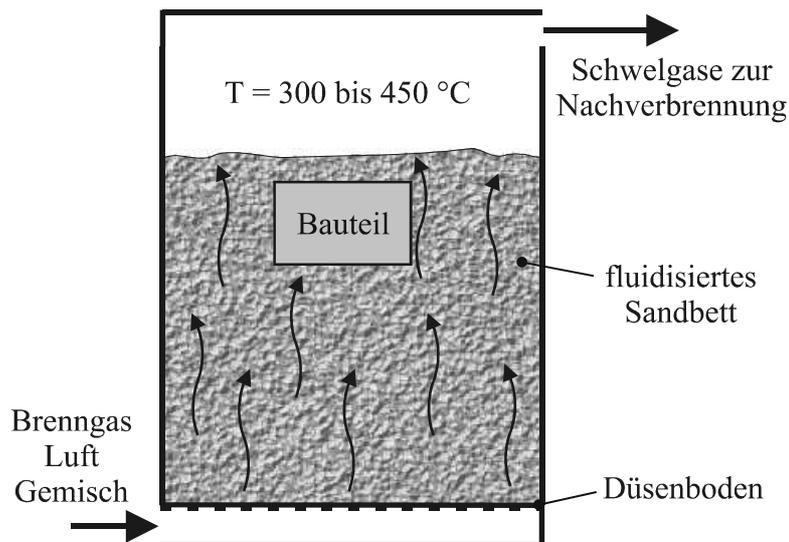


Bild 5.37 Schema der Wirbelbettreinigung

Die Wirbelbettreinigung wird zumeist als Alternativverfahren zur Reinigung in Schwelkammeröfen (Ordnungsnummer 4.2.1) eingesetzt. Aufgrund der zusätzlichen mechanischen Reinigungswirkung durch die Sandpartikel kann die Reinigungszeit dabei deutlich geringer gehalten werden. Sie liegt jedoch noch immer bei ca. einer Stunde. Der Energieverbrauch eines Wirbelbettes ist in der Regel höher als der eines vergleichbaren Schwelkammerofens.

Schwierigkeiten bereiten bei der Wirbelbettreinigung Bauteile, deren Geometrie die notwendige Fluidisierung des Sandes beeinträchtigen, wie z. B. Kästen, Wannen oder Schalen. Ebenfalls problematisch sind dünnwandige Blechteile, da diese durch das Gewicht des Sandes verformt werden können. Zur Reinigung von Bauteilen mit abrasionsempfindlichen Oberflächen kann die Wirbelbettreinigung aufgrund der schmirgelnden Wirkung des fluidisierten Sandes nicht eingesetzt werden. Nach der Wirbelbettreinigung anhaftender Sand muss vor weiteren Bearbeitungsschritten, wie z. B. einem Lackieren, entfernt werden.

Referenzen: /kir80/, /mol97/

Ordnungsnummer 4.1.2 Flammstrahlen

Bei dem nach DIN 32539 genormten Flammstrahlen wird die zu reinigende Oberfläche mit einer offenen Flamme, zumeist einer Acetylenflamme mit 3200 °C im Zentrum, abgeflammt. Dabei werden organische Verunreinigungen verdampft bzw. verkohlt und Metalloxide zu Metall reduziert. Eine zusätzliche Reinigungswirkung ergibt sich durch das Verdampfen der in Rissen unter der Schmutz- oder Rostschicht eingeschlossenen Feuchtigkeit. Durch die explosionsartige Volumenvergrößerung beim Übergang der Feuchtigkeit in die Gasphase werden die darüber liegenden Schichten regelrecht abgesprengt. Nach der thermischen Behandlung ist in der Regel eine mechanische Nachbehandlung erforderlich, um die entstandenen Verbrennungsrückstände zu entfernen. Hierzu werden meist Drahtbürsten eingesetzt (siehe **Bild 5.38**).

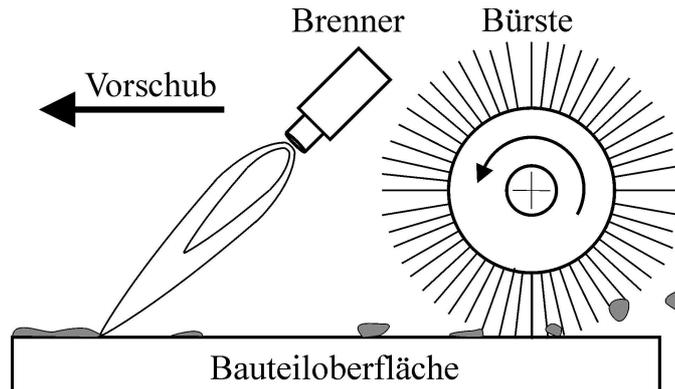


Bild 5.38 Schema des Flammstrahlens mit Nachreinigung durch Bürsten

Das Flammstrahlen wird bereits seit über 50 Jahren in Industrie und Baugewerbe eingesetzt. Die Hauptanwendungsgebiete sind das Schälen von Beton und die Entrostung von Stahlflächen. Durchgeführt wird es meist mit speziellen Flachbrennern in Kombination mit Bürstengeräten zur anschließenden Nachbehandlung. Als Oberflächenvorbereitungsverfahren ist Flammstrahlen in DIN 55928 bzw. ISO 8501 erfasst. Laut diesen Normen entspricht eine nach Güteklasse Fl geblähtstrahlte Stahloberfläche dem Vorbereitungsgrad Sa 2 1/2 einer gesandstrahlten Fläche. Die Oberflächenvorbereitung durch Flammstrahlen findet vornehmlich im Schiffsbau, Groß- und Schwermaschinenbau seine Anwendung. Typische Einsatzfälle sind die Vorbereitung von Eisenbahnwagenuntergestellen vor der Aufbringung von Bitumenanstrichen, die Vorbereitung von Schiffswänden vor Anstrichen oder die Reinigung von Brennkesseln.

Aufgrund der starken Erwärmung der zu reinigenden Teile kann es zu unerwünschten Effekten, wie Verzug oder Gefügewandlungen, kommen. Aus diesem Grund sind nur Teile mit Blechdicken von mindestens 5 mm zum Flammstrahlen geeignet, und es ist zudem auf eine Vorschubgeschwindigkeit von mindestens 3 m/min zu achten. Eine weitere Bedingung für den Einsatz des Flammstrahlens ist, dass ein geeigneter Ausgangszustand der Oberfläche vorliegt. Bei sehr stark verrosteten Bauteilen (Oberfläche weist Rostgrad D mit Schichtrost nach ISO 8501 bzw. DIN 55928 auf) muss vor dem Flammstrahlen eine Grobentrostung, zum Beispiel durch Schaben, erfolgen. Salz- oder Staubauflagen sind ebenfalls vor dem Flammstrahlen zu entfernen.

Referenzen: /wei69/

Ordnungsnummer 4.2.1 Ofenreinigung

Die thermische Reinigung von Bauteilen in Öfen dient vornehmlich der Entfernung von organischen Verschmutzungen, wie Ölen, Fetten, Lacken und Kunststoffen. Die zu reinigenden Bauteile werden auf hohe Temperaturen gebracht, wodurch die Verunreinigungen verdampft, vergast oder chemisch umgewandelt werden. Es können nur Bauteile gereinigt werden, die den hohen Prozesstemperaturen standhalten. Neben unerwünschten Gefügeumwandlungen kann es bei ungünstiger Bauteilgeometrie auch zum Verzug kommen. Bei der Ofenreinigung können drei verschiedene Verfahrensvarianten unterschieden werden:

Die **Reinigung im Schwelkammerofen** erfolgt unter Sauerstoffabschluss bei 300 °C bis 500 °C. Dabei werden verschwelbare organische Stoffe, wie beispielsweise Lacke oder Kabelisolierungen, durch Ausgasen oder Verdampfen entfernt. Die entstehenden giftigen Schwelgase werden einer thermischen Nachverbrennung zugeführt. Der Reinigungsvorgang dauert meist mehrere Stunden. Die auf den Bauteilen verbleibenden Verbrennungsrückstände müssen in einem mechanischen oder chemischen Nachbehandlungsschritt entfernt werden. Die Reinigung im Schwelkammerofen wird häufig bei der Wartung und Reparatur angewendet, wenn Lackierungen erneuert werden sollen oder fehllackierte Teile entlackt werden müssen. Oftmals werden auch Teile und Vorrichtungen, die beim Lackieren benötigt werden (Gitterroste aus Lackierkabinen, Aufhängungen usw.) nach diesem Verfahren gereinigt. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Entisolierung von Elektromotorspulen vor der Rückwicklung. Schwelkammeröfen sind vielfältig einsetzbar und können außer zur Reinigung auch zum Trocknen, Härten, Anlassen, Rekristallisationsglühen oder Aushärten eingesetzt werden.

Das **Entfetten durch Abbrennen** findet, im Gegensatz zur Reinigung im Schwelkammerofen, unter Frischluftzufuhr statt. Das Bauteil wird bis zur Rotglut (ca. 600 °C bei Stahlteilen) aufgeheizt, wobei Fette und Öle thermisch zersetzt werden und in der sauerstoffreichen Atmosphäre verbrennen. Das Entfetten durch Abbrennen wird in den letzten Jahren mehr und mehr durch die alkalische Reinigung verdrängt. Vielfach findet es jedoch noch in Emailbetrieben Anwendung, da die hier vorhandenen Emailieröfen zum Reinigen der Bauteile mitgenutzt werden können. Außerdem garantiert das Verfahren aufgrund seiner großen Wirksamkeit - auch gegen Fett- und Ölrückstände, die während eines vorhergehenden Umformvorganges in die Poren des Werkstoffes eingepresst wurden - ein gutes Reinigungsergebnis, was zum Aufbringen der Email unerlässlich ist. Aus dem gleichen Grund wird das Verfahren oft auch vor dem Verzinken von Stahlblechen angewendet. Ein Entfetten durch Abbrennen tritt zudem als gewünschter Nebeneffekt bei der Wärmebehandlungen von Werkstücken in Durchlauföfen auf.

Bei der **Reinigung mit Gasen**, in der Literatur auch als „Gasbeizen“ bezeichnet, werden rost- und zunderbehaftete Werkstücke aus Eisenwerkstoffen in einem Durchlaufofen bei 550 °C bis 750 °C einer Atmosphäre aus Chlorwasserstoff, Stickstoff und Kohlendioxid ausgesetzt. In der heißen, sauren Atmosphäre werden Rost und Zunder in Eisenchloride umgewandelt. Eventuell vorhandene organische Verschmutzungen verbrennen, verdampfen oder gasen aus. Aufgrund der hohen Kosten und der mit der Verwendung von aggressiven Gasen zusammenhängenden Umweltproblematik kommt dieses Verfahren nur in wenigen Sonderanwendungen zum Einsatz.

Referenzen: /cap93/, /har97/, /hef98/, /mai94/, /mol97/, /NN98b/, /wei69/

Ordnungsnummer 4.2.2 Salzbadreinigung

Geschmolzene Salzbadere können genutzt werden, um Bauteile von einer Vielzahl anhaftender Substanzen, wie Ölen, Fetten, Farben, Lacken, Beschichtungen, Oxiden, Wachsen, Gläsern, Formsanden oder Kunststoffen, zu befreien. Die Entfernung der Fremdstoffe wird dabei zumeist durch eine thermo-chemische Reaktion mit der Schmelze erreicht. Zudem wird bei einigen Verfahrensvarianten eine elektrolytische Unterstützung zur Verstärkung der Oxidations- bzw. Reduktionswirkung eingesetzt. Bei der Salzbadreinigung werden eine hohe Reaktivität und ein hohes Lösevermögen kombiniert, wodurch eine sehr schnelle und gründliche Reinigung möglich wird. Die Reinigungszeiten liegen im Bereich einiger Sekunden bis Minuten. Nach der Reinigung müssen die Werkstücke in Wasser gespült werden, um sie abzukühlen und anhaftende Salzreste zu entfernen. **Bild 5.39** zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Verfahrensvarianten und Parameter der Salzbadreinigung.

	Kolene-E Verfahren	KoleneDeNamel Verfahren	Kolene-10/15 Verfahren	Natriumhydrid Verfahren	Tainton Verfahren
Temperatur der Schmelze	300 - 450 °C	300 - 400 °C	450 - 550 °C	370 - 415 °C	300 - 400 °C
Reinigungsdauer	5 - 20 min	5 - 10 min	oft Durchlauf	1 - 20 min	5 - 10 min
Elektrolytische Unterstützung	wechselnd 3 - 6 V, 5 A/dm ²	wechselnd 3 - 6 V, 5 A/dm ²	meist keine	keine	kathodisch 6 V, 10 A/dm ²
Bestandteile der Schmelze	Kolene-E-Salz	Salz GS 230	stark oxidierende Salze	Ätznatron mit 1,5 - 2 % Natriumhydrid	Reine Natriumhydroxydschmelze
Gereinigte Materialien	Grauguss und Stahlguss	Leichtmetallguss Präzisionsguss	rostfreier Stahl	rostfreier Stahl, Schmiedeteile	Grauguss, Titan rostfreier Stahl
Entfernbarer Schmutz	Graphit, Silizium, Zunder, Formsand, Phosphor	Kieselsäure, Email, Wachs, Formmasse	Zunder, Flamm-spritzschichten, Lack, Kunststoff	Oxide, Öle, Fett	Oxide, Öle, Fett

Bild 5.39 Verfahrensvarianten und Einsatzgebiete der Salzbadreinigung

Die Salzbadreinigung kann nicht für thermisch unbeständige Materialien, wie Zinn, Blei, Glas oder Kunststoff, eingesetzt werden. Magnesiumlegierungen dürfen nicht in oxidierenden Schmelzen gereinigt werden, da sie sich entzünden können. Die meisten anderen Gebrauchsmetalle, wie Kupfer, Bronze, Messing, Titan, sämtliche Stähle und die meisten Aluminiumlegierungen, sind sowohl thermisch als auch chemisch kompatibel. Problematisch sind Bauteile mit engen Spalten. Das geschmolzene Salz dringt zwar sehr gut in die Spalte ein, verfestigt sich jedoch bei der Abkühlung des Bauteils im Spülwasser. Das feste Salz kann dann nicht mehr problemlos ausgespült werden. Es nimmt später Feuchtigkeit aus der Umgebung auf und kann zur Spaltkorrosion führen.

Aufgrund der hohen chemischen Reaktivität und der hohen Temperatur stellen Salzschnmelzen eine erhebliche Gefahr für das Bedienpersonal dar, und es sind dementsprechende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

Referenzen: /mal97/, /mal98/, /NN96d/, /pet97/, /wei69/

Ordnungsnummer 4.3.1 Vakuumentölen

Bei dem Vakuumentölen (siehe **Bild 5.40**) werden die zu reinigenden Bauteile in eine Vakuumkammer (1) gebracht und durch Heizstrahler (2) aufgeheizt. Der entstehende Öldampf wird mit einer Vorpumpe (3) und einer nachgeschalteten Vakuumpumpe (4) abgepumpt und in einem Kondensator (5) wieder verflüssigt. Das so abgetrennte Öl kann entsorgt oder zum Teil auch wiederverwendet werden. Die Prozesstemperatur und der Prozessdruck müssen so gewählt werden, dass sämtliche zu entfernenden Verschmutzungen verdampfen. Das Verfahren ist auf die Entfernung flüssiger Verunreinigungen, wie Öle oder KSS, beschränkt. Partikelschmutz und andere feste oder pastöse Verunreinigungen bleiben auf den Bauteiloberflächen zurück.

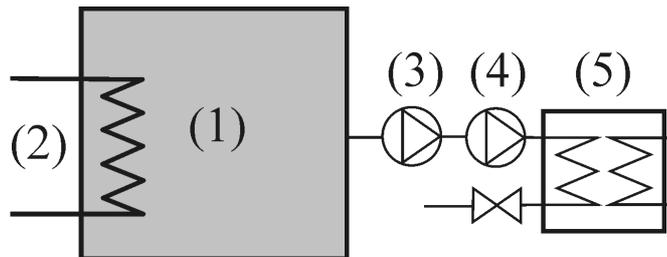


Bild 5.40 Schema des Vakuumentölen

Ein besonderer Vorteil des Verfahrens ist die Möglichkeit, sowohl Einzelteile beliebiger Geometrie als auch Baugruppen oder ganze Apparate ohne vorheriger Demontage reinigen zu können. Die dabei erreichbare Fettfreiheit ist sehr hoch. Tests der Oberflächenspannung zeigen nach der Vakuumentölung fettfreie Oberflächen, auch wenn es sich um geometrisch kompliziert geformte Bauteile mit engen Spalten handelt. Der Energieverbrauch ist aufgrund der erforderlichen Aufheizung der Bauteile auf eine werkstoffspezifische Betriebstemperatur von 50 bis 300 °C relativ hoch. Die Bearbeitungszeiten liegen durch das Evakuieren der Reinigungskammer und die Aufheizdauer der Bauteile im Bereich von ca. 5 bis 15 Minuten.

Vakuumentölungsanlagen werden in den meisten Fällen als großvolumige Kammeranlagen ausgeführt. Die Beheizung erfolgt elektrisch oder mit Dampf. Da der in der Kammer entstehende Öldampf entzündlich ist, müssen entsprechende Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen getroffen werden. Die Betriebstemperatur der Kesselinnenwände sollte ca. 100 °C betragen, so dass ein Rückkondensieren der Öldämpfe weitgehend vermieden wird. Durch die geschlossene Bauweise wird effektiv verhindert, dass Schadstoffe in die Umwelt gelangen.

Das Vakuumentölen stellt insbesondere dann eine wirtschaftliche Reinigungsmethode dar, wenn große Mengen stark verölter Teile oder fertig montierte Baugruppen zu reinigen sind und das entfernte Öl wiederverwendet werden kann. Ein häufiger Anwendungsfall ist die Kombination mit einer Plasmaoberflächenbehandlung. Hierbei kann zunächst im Vakuum entölt werden, und anschließend findet in derselben Arbeitskammer, ebenfalls im Vakuum, die Plasmabehandlung statt. Auch als Vorbereitung für das Lackieren und das Aufbringen funktioneller Schichten hat sich das Vakuumentölen in der Praxis bewährt.

Referenzen: /läm95/

Ordnungsnummer 4.4.1 Laserstrahlreinigung

Bei der Laserstrahlreinigung wird ein Laserstrahl mit hoher Leistungsdichte über die zu reinigende Oberfläche geführt. Das Laserlicht wird von der Schmutzschicht absorbiert und in einem lokal eng begrenzten Bereich in Wärme umgewandelt. Organische Verunreinigungen werden hierbei zersetzt oder verdampft und strömen in Form einer Plasmaschockwelle aus der Laserzone ab (siehe **Bild 5.41**). Diese Plasmaschockwelle sprengt auch nicht verdampfbare Partikel ab. Eine zusätzliche Reinigungswirkung ergibt sich durch die Übertragung von Photonenimpulsen: Bei der Absorption der Laserphotonen geht deren Impuls auf die Schmutzteilchen über und lässt diese von der Oberfläche in die Höhe "springen". Die so abgelösten Partikel können von einem parallel zur Bauteiloberfläche fließenden laminaren Gasstrom aufgenommen und abtransportiert werden. Dabei werden zumeist Stickstoff, saubere Luft oder Argon eingesetzt. Edelmischungen sind teurer, haben jedoch eine höhere Aufnahmefähigkeit für Verschmutzungen.

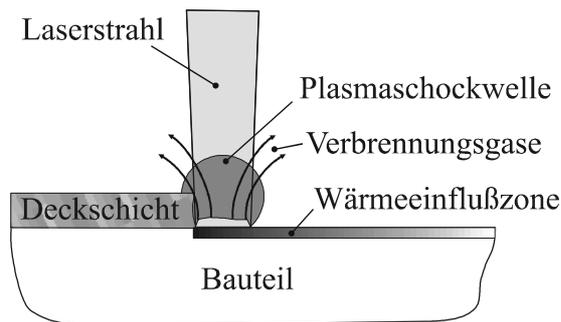
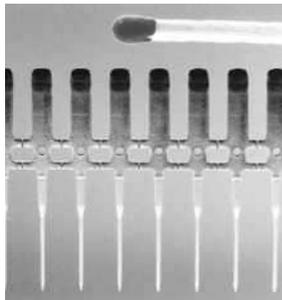


Bild 5.41 Schema der Laserstrahlreinigung

Die Laserstrahlreinigung ist ein berührungsfreies und werkstoffschonendes Verfahren, mit dem bei entsprechender Prozessregelung scharf abgegrenzte Bereiche gereinigt und Schichten definierter Dicke abgetragen werden können. Dabei wird nur eine sehr dünne Schicht des Grundwerkstoffes einer Wärmebeeinflussung ausgesetzt. Bei exakter Regelung der Prozessparameter ist auch die selektive Entfernung einzelner Schichten eines Beschichtungssystems möglich.



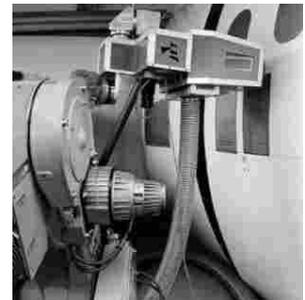
Stecker entlacken /lot99/



Kontakte freilegen /NN99d/



Handpistole /büc00/



Flugzeugentlackung /jet99/

Bild 5.42 Anwendungsbeispiele der Laserstrahlreinigung

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten dieses noch jungen Verfahrens werden bislang noch nicht vollständig ausgeschöpft. Bisherige Einsatzbeispiele sind das Entlacken und Entschichten metallischer Bauteile, die Entfernung von Foto- oder Lötstopplacken auf Leiterplatten, die Reinigung von Kunstwerken, das selektive Entlacken zur galvanischen Oberflächenbeschichtung sowie das Reinigen von Tiefdruckzylindern. Die erzielte Abtragsgeschwindigkeit kann, je nach Anlage und zu entfernender Schicht, mehr als 10 m²/h betragen. Je nach Anwendungsfall und Anlagenaufwand können mittlere bis höchste Reinheitsgüten erreicht werden.

Referenzen: /büc00/, /eng95/, /eng98/, /fit01/, /jet99/, /lot99/, /man97/, /mil99/, /NN97a/, /wal94/

Ordnungsnummer 4.5.1 Blitzlampenreinigung

Bei der Reinigung mit Blitzlampen handelt es sich um ein relativ neues, in den USA entwickeltes Reinigungs- und Entschichtungsverfahren, das sich noch in der Entwicklungsphase befindet. In einer Blitzlampe wird ein in einer Quarzröhre befindliches Gas (Xenon oder Quecksilberdampf) mit einer Frequenz von 4 bis 6 Hz elektrisch angeregt, was jedes mal zur Abstrahlung eines hochenergetischen ultravioletten Lichtblitzes führt. Dieser Lichtblitz wird mittels eines Parabolspiegels auf die zu reinigende oder zu entschichtende Oberfläche fokussiert. Die Verschmutzungsschicht bzw. die Beschichtung nimmt die Lichtblitze auf, erwärmt sich lokal sehr stark und verdampft teilweise. Ein auf die Oberfläche gerichteter scharfer Luftstrahl bläst die verdampften Bestandteile und noch verbliebene Überreste fort. Oftmals wird dieses Reinigungsverfahren auch mit dem CO₂-Pellet-Strahlen (Ordnungsnummer 2.4.1) oder dem CO₂-Schnee-Strahlen (Ordnungsnummer 2.4.2) kombiniert (siehe **Bild 5.43**). Dabei wechseln sich kurze Blitzlichtimpulse und kurzes Strahlen in schneller Folge ab. Der ständige Temperaturwechsel verstärkt den Reinigungseffekt. Bei computergestützter Überwachung der Prozessparameter kann sogar eine selektive Entschichtung erfolgen, das heißt, die oberste Schicht eines Schichtsystems kann entfernt werden, ohne die darunter liegenden Schichten zu beschädigen.

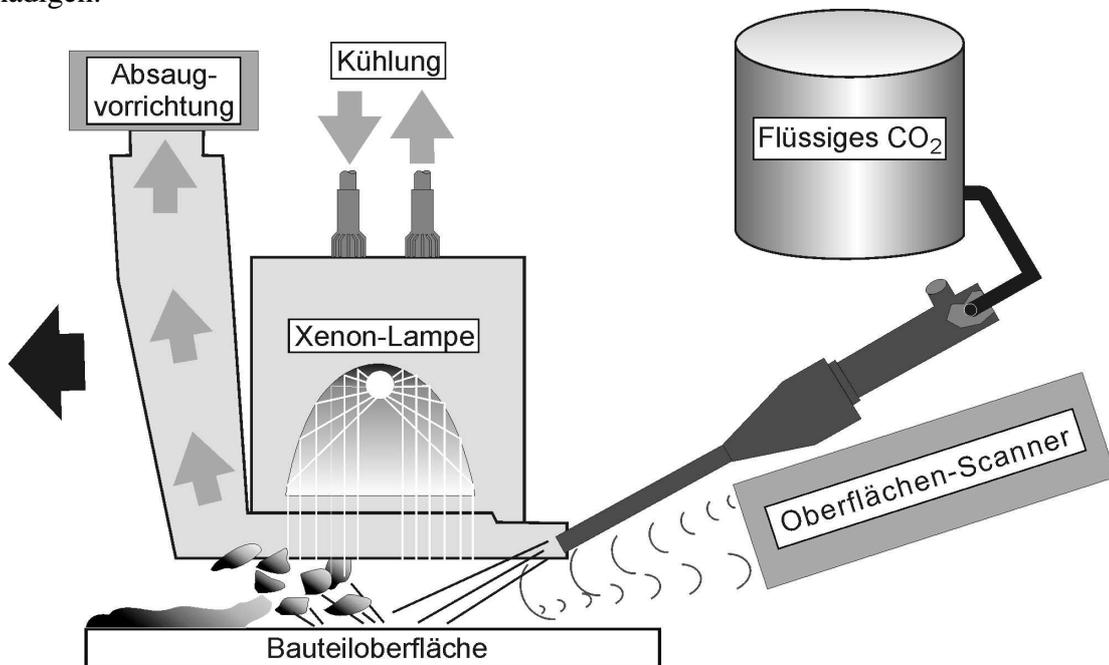


Bild 5.43 Schema der Blitzlampenreinigung in Kombination mit dem CO₂-Schnee-Strahlen nach /NN97b/

Gereinigt werden können sämtliche Materialien, die unempfindlich gegenüber schnellen Temperaturwechseln sind. Probleme können Kunststoffe bereiten. Die Einsatzbereiche dieses Verfahrens sind bislang bei der Entlackung von Flugzeugen, Schiffen und Brücken zu finden. In einem Anwendungsfall wurden auch Wafer von Fotolacken gereinigt.

Bei der Blitzlampenreinigung handelt es sich um ein sehr umweltfreundliches Verfahren. Als Abfallprodukte fallen nur die entfernten Verschmutzungen bzw. Beschichtungsstoffe selbst an. Diese werden abgesaugt und können ausgefiltert werden.

Referenzen: /NN00a/, /NN01d/, /NN97b/

Ordnungsnummer 5.0.1 UV-Licht-Reinigung

Bei der UV-Licht-Reinigung handelt es sich um ein Feinstreinigungsverfahren, mit dem Oberflächen von geringsten Spuren organischer Verunreinigungen befreit werden können. Die zu reinigenden Bauteile werden in eine geschlossene Kammer gegeben, in der sich wahlweise eine sauerstoffhaltige Atmosphäre oder sauerstoffhaltiges Wasser befindet. Eine in der Kammer befindliche UV-Lampe emittiert Licht mit zwei unterschiedlichen Wellenlängen: 185 nm und 254 nm. Das Licht der Wellenlänge 185 nm wird vom Sauerstoff absorbiert und sorgt für die Bildung von O_3 (Ozon) in der Gasatmosphäre bzw. H_2O_2 in der wässrigen Umgebung. Das Licht der Wellenlänge 254 nm wird dazu benötigt, die O_3 -Moleküle in O_2 -Moleküle und freie O-Atome zu spalten bzw. aus H_2O_2 ein H_2O -Molekül und ein O-Atom zu erzeugen. Auf diese Weise werden hochreaktive O-Atome in der Kammer angereichert. Die O-Atome spalten, wenn sie auf organischen Schmutz an der Bauteiloberfläche treffen, diese zunächst in niedermolekulare organische Verbindungen auf, die durch weitere O-Atome zu Wasser und Kohlendioxid aufoxidiert werden (siehe **Bild 5.44**). Das Aufspalten der Moleküle wird durch die hochenergetische UV-Strahlung, welche auch von den Schmutzmolekülen selbst absorbiert wird, unterstützt.

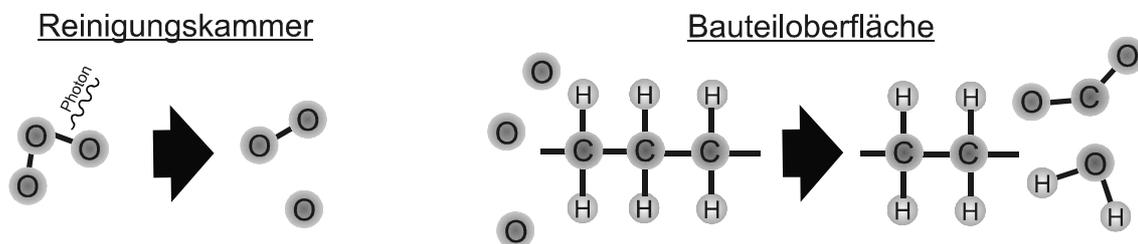


Bild 5.44 Abbau von Kohlenwasserstoffen durch UV-Strahlung

Das Verfahren kann am effektivsten eingesetzt werden, wenn nur sehr dünne Schichten organischer Verschmutzungen vorliegen. Da die Reinigungszeit proportional mit der Schmutzmenge ansteigt, ist bei stark verschmutzten Bauteilen ein geeigneter Schritt der Vorreinigung vorzuschalten. Mit Hilfe von Modifikatoren können neben organischen Verunreinigungen auch dünne anorganische Schichten abgereinigt werden. Das Verfahren ist allerdings nicht geeignet, um Partikel, Salze oder ionische Verschmutzungen zu entfernen. Außerdem können auch bestimmte organische Verschmutzungen und Zerfallsprodukte, wie Carboxylsäure, nicht zersetzt werden.

Die Einsatzmöglichkeiten dieses erst vor kurzer Zeit entwickelten Verfahrens wurden bislang noch nicht erschöpfend untersucht. In Laborversuchen konnten Materialien wie Silikon, Galliumarsenid, Glas, Quarz, Glimmer, Keramik und unterschiedliche Metalle erfolgreich gereinigt werden. Erste konkrete Einsatzbeispiele sind in der Halbleiterindustrie und bei der Fertigung von optischen Laserkomponenten zu finden. Ein bereits seit längerer Zeit bekannter Einsatzfall ist die Reinigung von kohlenwasserstoffhaltigen Abwässern.

Wegen der hohen Intensität der UV-Strahlung und der hohen Ozonkonzentration sind UV-Reinigungsanlagen geschlossen auszuführen. Die verwendeten UV-Lampen enthalten Quecksilber und sollten mit entsprechender Vorsicht behandelt werden. Ansonsten ist die UV-Licht-Reinigung sowohl im Hinblick auf die Umwelt als auch auf den Arbeitsschutz unproblematisch.

Referenzen: /ker93/, /NN01d/, /sch94/

Ordnungsnummer 5.0.2 Plasmareinigung

Bei der Plasmareinigung handelt es sich um ein berührungsloses Reinigungsverfahren, mit dem höchste Reinheitsgüten erzielt werden können. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die zu entfernenden Schmutzschichten nur wenige μm dick sind. In der Regel wird die Plasmareinigung daher als abschließender Feinstreinigungsschritt in mehrstufigen Reinigungsabläufen eingesetzt. Es können zwei Verfahrensvarianten unterschieden werden. Dies ist zum einen die Reinigung im Niederdruckplasma, die in geschlossenen Kammern zur Reinigung von Schütt- und Stückgütern beliebiger Geometrie eingesetzt wird, und zum anderen die Reinigung durch Koronaentladungen, welche die bahnförmige Reinigung von flächigen Bauteilen unter Atmosphärendruck erlaubt.

Ein **Niederdruckplasma** (links in **Bild 5.45**) entsteht, wenn ein Gas bei niedrigem Druck (0,1 - 100 Pa) einem elektrischen Feld (z. B. 50 kHz, 1000 V) ausgesetzt wird. Die in jedem Gas vorhandenen freien Elektronen und Ionen werden zur Kathode bzw. Anode hin beschleunigt und erreichen aufgrund der langen freien Weglängen Energien von einigen 100 eV. Stoßen diese hochenergetischen Teilchen mit Molekülen des Gases zusammen, spalten sie diese ebenfalls in Ionen, Elektronen und freie Radikale auf. Die reaktiven Teilchen des so entstehenden Plasmas lösen organische Verschmutzungen von den zu reinigenden Bauteilen ab, indem sie entweder chemisch mit den Schmutzmolekülen zu Kohlendioxid und Wasser reagieren oder diese durch Abgabe ihrer hohen kinetischen Energie beim Aufprall absprengen. Je nach Anwendungsfall können unterschiedliche Plasmagase eingesetzt werden. Für die Entfernung von Fett- oder Ölschichten wird zumeist reiner Sauerstoff verwendet. Sollen dünne Kunststoffschichten entfernt werden, wird dem Sauerstoff Tetrafluormethan zugesetzt. Wasserstoff-Argon-Gemische werden zur Reduktion dünner Oxidschichten eingesetzt und Argon-Sauerstoff-Gemische für die Aktivierung von Kunststoffoberflächen. Die Reinigungszeit kann zwischen einigen Sekunden und mehreren Stunden liegen. Die Arbeitstemperatur liegt bei 30 bis 80 °C, in Sonderfällen auch höher.

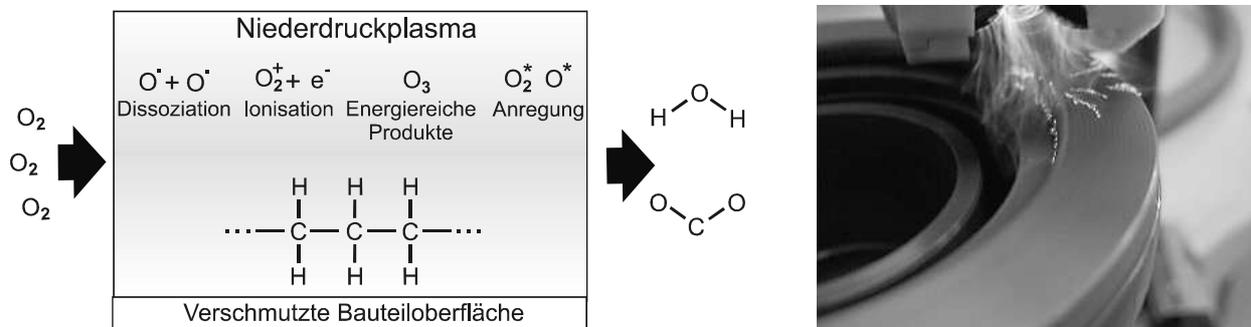


Bild 5.45 Schema der Niederdruckplasmareinigung links und Koronaentladung /NN02j/ rechts

Bei einer **atmosphärischen Koronaentladung** (rechts in **Bild 5.45**) handelt es sich um eine elektrische Entladung, bei der zwischen zwei Elektroden eine Spannung von mehr als 10.000 V bei einer Wechselfrequenz von 20 bis 50 kHz anliegt. Dabei kommt es zu einzelnen Durchschlägen, die sich jedoch nicht zu einem Lichtbogen stabilisieren können. In den Entladungskanälen entsteht ein nicht thermisches Plasma. Da Koronaentladungen auch unter Atmosphärendruck entstehen, kann mit Werkzeugen gereinigt werden, die in einem Abstand von 1,5 mm bis 2 mm über die zu reinigende Oberfläche geführt werden. Elektrisch leitende Bauteile können direkt als Gegenelektrode geschaltet werden, nichtleitende Bauteile müssen entweder auf eine Elektrode aufgelegt werden, oder Elektrode und Gegenelektrode befinden sich im Reinigungswerkzeug, und das Plasma wird mit einem gerichteten Luftstrom auf das Werkstück geblasen.

Referenzen: /dil98/, /grü94a/, /grü94b/, /jel99/, /kor95/, /mat96/, /sch93/, /sti97/, /voh99/

5.3 Ordnungsschema der Reinigungsflüssigkeiten

Eine differenzierte Betrachtung einzelner in der Praxis eingesetzter Reinigungsmittel ist kaum möglich, da zum einen die Zahl der möglichen Formulierungen nahezu unendlich groß ist und zum anderen die Rezepturen das firmenspezifische Know-How der Anbieter darstellen und daher in der Regel nicht veröffentlicht werden. Um dem Konstrukteur dennoch ein praxisgerechtes und einfach zu handhabendes Ordnungsschema an die Hand zu geben, werden acht Gruppen von Reinigungsflüssigkeiten mit grundlegend verschiedenen Eigenschaften und Einsatzgebieten abgegrenzt, in welche alle Reiniger, die eine hohe Praxisrelevanz besitzen, eingeordnet werden können:

- Neutralreiniger
- Alkalische Reiniger
- Saure Reiniger
- Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)
- Kohlenwasserstoffe (KW)
- Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe
- Pflanzenölbasierte Reiniger
- Emulsionen

Die ersten drei Gruppen umfassen sämtliche wässrigen Reinigungsmittel und werden anhand des pH-Wertes voneinander abgegrenzt. Die nachfolgenden vier Gruppen untergliedern die wichtigsten organischen Lösemittel: Die drei derzeit noch zugelassenen CKW Perchlorethylen, Trichlorethylen und Dichlormethan bilden die erste Gruppe. Die zweite Gruppe umfasst Gemische aus nicht halogenierten, vornehmlich unpolaren Kohlenwasserstoffen, die meist zur Entfettung eingesetzt werden. Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe der dritten Gruppe weisen neben unpolaren auch polare Eigenschaften auf und können daher in Grenzen auch polare Verschmutzungen lösen. Bei den pflanzenölbasierten Reinigern handelt es sich um relativ neuartige, umweltfreundliche und nicht brennbare Reinigungsmittel, denen aufgrund ihrer herausragenden Eigenschaften eine eigene Gruppe gewidmet wird. Die letzte Gruppe bilden stabilisierte Emulsionen aus Wasser und vornehmlich unpolaren Kohlenwasserstoffen, welche positive Eigenschaften beider Stoffgruppen vereinen.

5.3.1 Gliederung der Reinigergruppen

Als übergeordnetes Gliederungskriterium für die acht Reinigergruppen wird die Polarität herangezogen, da die Polarität die wichtigste Kenngröße für das Löseverhalten einer Flüssigkeit darstellt. Entsprechend der Polarität können drei Hauptgruppen unterschieden werden:

- Polare Reinigungsflüssigkeiten
- Reinigungsflüssigkeiten, die teilweise polare und unpolare Eigenschaften aufweisen
- Unpolare Reinigungsflüssigkeiten

Das sich durch Einordnung der acht Reinigergruppen in die drei Hauptgruppen ergebende Ordnungsschema ist in **Bild 5.46** dargestellt.

				Verwendbar mit entropischem Verfahren													
Reinigungsfluide	Wirkung	Reinigungsmittel	Nr.	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.4.1	1.4.2	1.4.3	1.4.4	1.5.1	1.6.1	1.7.1
				Abkochen	Dampfentfetten	Tauchreinigung	Flüssig-CO ₂ -Reinigung	Bürstreinigung	Wischreinigung	Trommelreinigung	Spritzreinigung	Druckumfluten	Powerwasher	Überkritisch-CO ₂ -Reinigung	Biologische Reinigung	Ultraschallreinigung	Elektrochemische Reinigung
Polar		Neutralreiniger	1.1	0	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	0
		Alkalische Reiniger	1.2	0	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	0	+	+
		Saure Reiniger	1.3	0	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	0	+	+
Polar/ Unpolar		Sauerstoffhaltige KW	2.1	0	+	+	-	+	+	+	0	0	0	-	-	0	-
		Emulsionsreiniger	2.2	0	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-
Unpolar		Kohlenwasserstoffe	3.1	+	+	+	-	+	+	+	0	0	0	-	-	+	-
		Chlorkohlenwasserstoffe	3.2	+	+	+	-	0	0	+	+	0	0	-	-	0	-
		Pflanzenölbasierte Reiniger	3.3	0	-	+	-	+	+	+	+	0	0	-	-	0	-

(+ uneingeschränkt verwendbar, 0 eingeschränkt verwendbar, - nicht verwendbar)

Bild 5.46 Ordnungsschema der Reinigungsflüssigkeiten

Neben dem Ordnungsschema der Reinigungsflüssigkeiten enthält **Bild 5.46** im rechten Tabellen- teil eine Übersicht über die Verwendbarkeit der einzelnen Reinigergruppen mit den entropischen Reinigungsverfahren. Ein Pluszeichen (+) steht dabei für eine uneingeschränkte Verwendbarkeit. Ein Minuszeichen (-) zeigt an, dass der Reiniger aufgrund des Wirkprinzips nicht mit dem ent- sprechenden Reinigungsverfahren kombiniert werden kann. Eine Null (0) bedeutet, dass der Rei- niger zwar prinzipiell verwendbar ist, die Kombination jedoch in der Praxis kaum eingesetzt wird. Die Gründe hierfür können in einer mangelnden Wirksamkeit der Kombination liegen, oder es ist ein erhöhter Aufwand bei der Anlagengestaltung aus Gründen des Explosions- oder Emis- sionsschutzes zu erwarten. Alle Reinigungsverfahren, deren Hauptwirkprinzip nicht das Lösen oder Emulgieren von Verschmutzungen in Fluiden ist, erfordern den Einsatz verfahrensspezifi- scher Reinigungsmittel, oder sie kommen gänzlich ohne Reinigungsmittel aus.

5.3.2 Ordnungsnummer der Reinigungsflüssigkeiten

Zur Kennzeichnung der Reinigungsflüssigkeit wird eine aus zwei Ziffern bestehende Ordnungs- nummer eingeführt. Die beiden Ziffern werden durch einen Punkt voneinander getrennt, um eine spätere Erweiterung auch auf mehrstellige Zahlen zuzulassen. Die erste Ziffer der Ordnungs- nummer gibt die Zugehörigkeit zu der Polaritätsgruppe an. Die zweite Ziffer nummeriert die Reiniger in der jeweiligen Polaritätsgruppe durch.

Die Ordnungsnummer der Reinigungsflüssigkeit kann, durch einen Bindestrich getrennt, an die Ordnungsnummer des Reinigungsverfahrens angehängt werden (vgl. **Bild 5.47**). Auf diese Weise ergibt sich beispielsweise die Ordnungsnummer 1.4.1-3.1 für die Spritzreinigung (Ordnungs- nummer 1.4.1) mit Kohlenwasserstoffen (Ordnungsnummer -3.1).

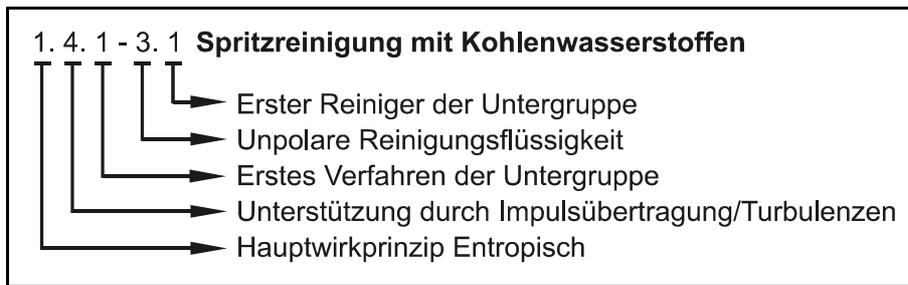


Bild 5.47 Erweiterung der Ordnungsnummer zur Beschreibung der Reinigungsflüssigkeit

Bei Reinigungsverfahren, deren Wirkprinzip mit der Verwendung eines bestimmten Reinigungsmittels verknüpft ist, wie zum Beispiel bei der Salzbadreinigung oder der Reinigung mit überkritischem CO₂, entfällt die Erweiterung der Ordnungsnummer.

5.3.3 Beschreibende Seiten der Reinigergruppen

Wie auch bei den Reinigungsverfahren werden zu den einzelnen Reinigergruppen beschreibende Seiten erstellt, auf denen zunächst eine Definition und Abgrenzung der jeweiligen Gruppe erfolgt und welche weiterhin Hinweise zu den chemischen Hintergründen, den typischen Einsatzgebieten, dem Umweltschutz und der Arbeitssicherheit enthalten. Auf die beschreibenden Seiten kann über die Ordnungsnummer des Reinigers zugegriffen werden. Um eine gezielte vertiefende Recherche zu ermöglichen, wird zu jeder Gruppe eine Referenzliste mit weiterführenden Quellen erstellt und auf die beschreibende Seite aufgenommen.

Das Ordnungsschema der Reinigungsflüssigkeiten (**Bild 5.46**) stellt in Verbindung mit den beschreibenden Seiten eine kompakte Übersicht über die derzeit (Stand 2003) in der industriellen Praxis eingesetzten Reinigungsflüssigkeiten dar. Die Gliederung sämtlicher Reinigerformulierungen in lediglich acht Gruppen erlaubt eine verallgemeinerte Betrachtung auf der Ebene der physikalischen und chemischen Wirkprinzipien. Dem Konstrukteur wird somit ein einfach zu handhabendes Werkzeug für die Konzeptfindung an die Hand gegeben.

Ordnungsnummer -1.1 Neutralreiniger

Neutralreiniger sind wässrige Reiniger mit einem pH-Wert im Bereich von 6 bis 9. Basis für die meisten Neutralreiniger bilden, neben dem Hauptbestandteil Wasser, Kombinationen aus nicht-ionischen (entschäumenden) und anionischen Tensiden. Amphothere und kationische Tenside werden seltener und niemals in Kombination mit anionischen Tensiden eingesetzt. Die Tenside lagern sich an der Grenzfläche zwischen dem Wasser und den Verschmutzungen an und verringern die Grenzflächenspannung. Hierdurch wird das Eindring- und Benetzungsvermögen erhöht und ein Ablösen und Emulgieren unpolarer Verschmutzungen ermöglicht (siehe **Bild 5.48**).

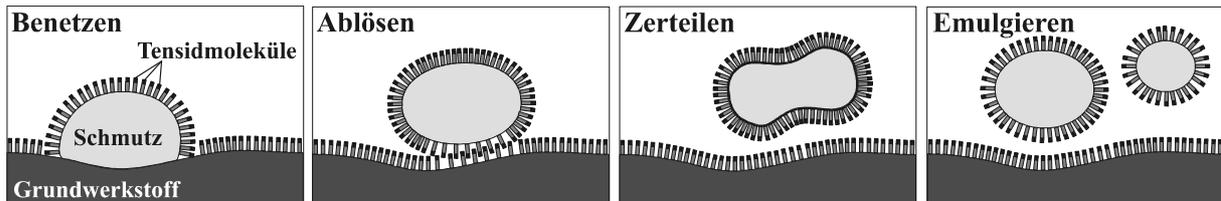


Bild 5.48 Emulgieren unpolarer Verschmutzungen in Neutralreinigern

Neutralreiniger stehen sowohl für Kalt- als auch für Heißenwendungen zur Verfügung. Je nach Art und Zusammensetzung werden die Produkte bei Temperaturen zwischen 20 °C und 80° C eingesetzt. Aufgrund des neutralen pH-Bereiches wirken sie nicht aggressiv und können für die Reinigung von Stahl, Gusseisen, Leichtmetalllegierungen, Buntmetallen, Glas, Keramik sowie der meisten Kunststoffe eingesetzt werden. Polare Verschmutzungen, wie z. B. Salze oder Pigmente, können meist problemlos entfernt werden. Die Reinigungswirkung gegenüber unpolaren Verschmutzungen, wie Ölen und Fetten, beruht ausschließlich auf der Emulgierwirkung und ist daher deutlich geringer als bei alkalischen Reinigern (Ordnungsnummer -1.2), zumeist jedoch besser als bei sauren Reinigern (Ordnungsnummer -1.3). Metalloxide, wie Rost und Zunder, können in der Regel nicht entfernt werden.

Mechanische Unterstützung verbessert die Emulgierwirkung der Neutralreiniger. Die am häufigsten eingesetzten Verfahren sind die Spritzreinigung mit hohen Spritzdrücken von bis zu 2 MPa (Ordnungsnummer 1.4.1) und die Tauchreinigung (Ordnungsnummer 1.2.1) mit einer mechanischen Unterstützung durch eine Hub- oder Rotationsbewegung der Bauteile. Sinnvoll sind auch Verfahrensvarianten mit hoher Turbulenz oder Kavitationswirkung, wie das Druckumfluten (Ordnungsnummer 1.4.2) oder die Ultraschallreinigung (Ordnungsnummer 1.6.1).

Neutralreiniger werden in großem Umfang für die Zwischen- und Endreinigung nach der spannenden Bearbeitung von Stählen und Nichteisenmetallen eingesetzt. Dabei werden die Bauteile in Ein- oder Zweikammer-Reinigungsautomaten gereinigt und mit einem Korrosionsschutzfilm versehen. Bei Teilen aus verzinktem Stahl, Aluminium oder Buntmetallen muss die Zusammensetzung der Korrosionsschutzinhibitoren auf das jeweilige Substrat abgestimmt werden.

Neutralreiniger sind arbeitsschutztechnisch weitgehend unbedenklich. Es kann zu keinerlei direkter Schädigung von Haut oder Augen kommen. Die eingesetzten Wirkstoffe entsprechen weitgehend denen, die auch in handelsüblichen Haushaltsreinigern enthalten sind. Die eingesetzten Tenside sind zudem in der Regel gut biologisch abbaubar, und durch Ultrafiltration kann eine nahezu vollständige Regeneration der Neutralreiniger erfolgen.

Referenzen: /eck99/, /haa92/, /jel99/, /leu98/, /NN01d/, /NN97c/, /pet97/, /wei69/

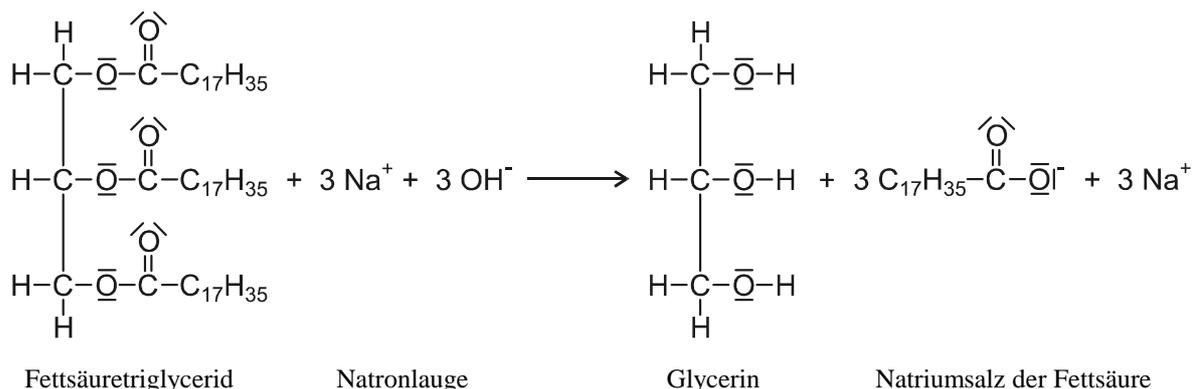
Ordnungsnummer -1.2 Alkalische Reiniger

Bei den alkalischen Reinigern können schwach alkalische (pH-Wert 9 - 12) und stark alkalische Lösungen (pH-Wert > 12) unterschieden werden. Stark alkalische Lösungen werden meist zur Reinigung von Eisenmetallen eingesetzt. Empfindlichere Werkstoffe, wie Aluminium, Bronze oder Messing, müssen schwach alkalisch gereinigt werden, da es sonst zu einem Oberflächenangriff kommen kann. Die Formulierung des Reinigers ist auf den zu reinigenden Werkstoff und die Art der Verschmutzung abzustimmen. Zu den häufigsten Grundkomponenten gehören Alkalihydroxide, Alkalikarbonate, Borate, Phosphate, Silikate, Glukonate und Cyanide (siehe **Bild 5.49**). Zusätzlich werden Tenside zur Verbesserung des Benetzungsvermögens und der Emulgierfähigkeit sowie Inhibitoren zur Minimierung des Oberflächenangriffs eingesetzt.

Substanz	Eigenschaften	Haupteinsatzgebiete
Alkalihydroxide	Stark alkalisch, hohe Leitfähigkeit, stark verseifend	Lackentferner oder Abbeizmittel
Alkalikarbonate	Stark alkalisch, emulgierend, hohe Leitfähigkeit	Spritzentfettungsmittel
Borate	Schwach bis nicht alkalisch, puffernd, inhibierend	Leichtmetallreiniger
Phosphate	Schwach alkalisch, dispergierend, komplexierend, puffernd	Leichtmetall- und Glasreiniger
Silikate	Schwach bis stark alkalisch, puffernd, inhibierend	Universal-Entfettungsmittel
Glukonate	Nicht alkalisch, dispergierend, komplexierend	Universal-Entfettungsmittel
Cyanide	Schwach alkalisch, keine Schichtbildung, toxisch	Elektrolytische Entfettungsmittel

Bild 5.49 Grundbestandteile alkalischer Reinigungslösungen

Mit alkalischen Reinigern können sowohl organische als auch anorganische Verschmutzungen wirkungsvoll entfernt werden. Die Reinigung beruht auf zwei Wirkmechanismen: Zum einen können viele pflanzliche oder tierische Öle und Fette durch Laugen zu wasserlöslichen Seifen umgewandelt werden (siehe **Bild 5.50**). Zum anderen lagern sich die negativ geladenen OH⁻-Ionen der Lauge sowohl am Schmutz als auch an der zu reinigenden Oberfläche an und führen so zu einer elektrostatischen Abstoßung. Der von der Oberfläche abgestoßene Schmutz kann dann unter Mithilfe der im Bad befindlichen Tenside emulgiert bzw. dispergiert werden.


Bild 5.50 Verseifungsreaktion am Beispiel einer Fettsäure mit Natronlauge

Bei Verwendung stark alkalischer Reiniger muss das Arbeitspersonal durch entsprechende Schutzeinrichtungen vor der ätzenden Wirkung der Lösung und ihrer Dämpfe geschützt werden.

Referenzen: /eck99/, /jel99/, /leu98/, /NN01d/, /NN97c/, /pet97/, /wei69/

Ordnungsnummer -1.3 Saure Reiniger

Saure Reiniger werden in schwach saure Lösungen (pH-Wert 2 bis 6) und stark saure Lösungen (pH-Wert < 2) unterteilt. Neben Wasser und einem Säurebildner (siehe **Bild 5.51**) enthalten handelsübliche Reiniger zumeist wasserlösliche organische Verbindungen, wie Alkohole oder Ester, die das Lösevermögen für unpolare Stoffe verbessern, Tenside, welche das Benetzungsverhalten und Emulsionsvermögen begünstigen und Inhibitoren, die einen Angriff des Grundmaterials minimieren.

Anorganische Säuren (stark sauer)		Saure Salze (mittelstark sauer)		Organische Säuren (schwach sauer)	
Salzsäure	HCl	Kaliumdihydrogenphosphat	KH_2PO_4	Ameisensäure	HCOOH
Schwefelsäure	H_2SO_4	Natriumhydrogensulfat	NaHSO_4	Essigsäure	$\text{H}_3\text{C-COOH}$
Salpetersäure	HNO_3	Kaliumhydrogensulfat	KHSO_4	Milchsäure	$\text{H}_3\text{C-CH(OH)-COOH}$
Phosphorsäure	H_3PO_4	Natriumdihydrogenphosphat	NaH_2PO_4	Zitronensäure	$\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COOH})_3$

Bild 5.51 Beispiele der wichtigsten Säurebildner saurer Reiniger

Mit sauren Reinigern können anorganische Partikel, wie Metallabrieb, Staub oder Pigmente, wirkungsvoll entfernt werden. Die Reinigungswirkung basiert dabei darauf, dass sich die in der sauren Lösung vorhandenen H^+ -Ionen sowohl am Schmutz als auch an der zu reinigenden Oberfläche anlagern und so zu einer elektrostatischen Abstoßung führen. Bei der Reaktion der Säure mit dem Grundwerkstoff entsteht zudem Wasserstoff in Form von kleinen Gasbläschen, welche in der Lage sind, Teile der Schmutzschicht anzuheben und so von der Bauteiloberfläche abzulösen. Ein weiterer typischer Einsatzfall für die saure Reinigung ist die Entrostung oder Entzunderung von Stahlteilen. Rost ist ein Eisen(III)-Oxid/Hydroxid, das durch Säuren in lösliche Eisenverbindungen überführt werden kann. Die Säure nimmt die gelösten Metallionen auf und führt sie von der zu reinigenden Oberfläche ab. Fest in die Oberfläche eingelagerte Eisen(III)-Ionen können z. B. durch Komplexierung mit Phosphorsäure entfärbt werden. Fette und Öle können nur durch Einsatz von Tensiden und eine starke mechanische Badbewegung emulgiert werden. Liegen vornehmlich unpolare Verschmutzungen vor, sollten besser alkalische Reiniger (Ordnungsnummer -1.2) oder Neutralreiniger (Ordnungsnummer -1.1) eingesetzt werden.

Saure Reiniger werden meist bei Temperaturen von 60 °C bis 80 °C eingesetzt. Verbesserte Reinigerformulierungen haben in den letzten Jahren auch vielfach eine Reinigung bei Raumtemperatur möglich gemacht. Zum Entrosten oder zur Entfernung hartnäckiger Verschmutzungen werden jedoch auch heute noch erhöhte Temperaturen bevorzugt. Das leichte Anätzen der Oberfläche bei der sauren Reinigung ist in vielen Fällen erwünscht und dient oftmals als Vorbereitung für nachfolgende Prozessschritte, wie z. B. eine Oberflächenbeschichtung.

Beim Umgang mit stark sauren Reinigern muss das Arbeitspersonal vor der ätzenden Wirkung der Reinigungslösung und ihrer Dämpfe geschützt werden. Berührung mit den Augen und der Haut ist unbedingt zu vermeiden. Ausreichende Schutzkleidung und Sicherheitseinrichtungen, wie Augenduschen und Erste-Hilfe-Kästen, sind vorzusehen.

Referenzen: /böh96a/, /eck99/, /je199/, /leu98/, /NN01d/, /NN96d/, /NN97c/, /pet97/, /wei69/

Ordnungsnummer -2.1 Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe

Bei sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffen (KW) handelt es sich zumeist um Einzelsubstanzen oder Gemische aus der Stoffgruppe der Alkohole und der aus Alkoholen abgeleiteten Substanzen. Eine Übersicht über die Hauptbestandteile üblicher Reiniger gibt **Bild 5.52**.

	Alkohole	Aldehyde	Ether	Ester	Ketone
Struktur	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \diagdown \\ \text{C} = \text{O} \\ / \\ \text{R} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}_1 - \text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \quad \quad \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{R}_2 - \text{C} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}_1 \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{R}_2 - \text{C} = \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}_1 \\ \diagdown \\ \text{C} = \text{O} \\ / \\ \text{R}_2 \end{array}$
Beispiele	Ethanol Isopropanol	Formaldehyd Acetaldehyd	Diethylether Glykolether	Methylacetat Ethylacetat	Aceton Dihydroxyaceton
Eigen-schaften	wasserlöslich, brennbar, leicht flüchtig	neutral bis schwach sauer, brennbar, meist wasserlöslich	Mäßig bis gut wasser- löslich, gutes Fettlöse- vermögen, brennbar	wasserlöslich, farblos, neutral, brennbar	toxisch, brennbar, Basis für Klebstoffe

Bild 5.52 Übersicht über die wichtigsten sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffe

Reine Kohlenwasserstoffketten sind weitgehend unpolar, da die Elektronegativität des Wasserstoffs mit 2,2 nahezu der des Kohlenstoffs mit 2,5 entspricht. Ist in das Molekül jedoch ein Sauerstoffatom (Elektronegativität 3,5) eingebaut, polarisiert dieses die Bindungen. Das Molekül erhält so im Bereich des Sauerstoffatoms ein polares Ende und im Bereich der Kohlenwasserstoffrestkette ein unpolares Ende. Je nach Größe des Kohlenwasserstoffrestes überwiegen die polaren oder die unpolaren Eigenschaften des Moleküls.

In der industriellen Bauteilreinigung spielen sauerstoffhaltige KW mengenmäßig eine eher untergeordnete Rolle. Sie kommen dort zum Einsatz, wo neben Fetten und Ölen auch polare Verschmutzungen entfernt werden müssen, die von den üblicheren unpolaren Kohlenwasserstoff-Reinigern (Ordnungsnummer 3.1) nicht entfernt werden können. Gegenüber wässrigen Reinigern besitzen sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe neben dem Vorteil des Lösevermögens für Öle und Fette auch eine geringere Leitfähigkeit, eine geringere Korrosionswirkung und eine geringere Verdampfungsenthalpie. Die Hauptanwendungsgebiete sind daher die Reinigung von Leiterplatten, elektronischen Bauteilen, optischen Linsen und Bauteilen der Feinmechanik. In einigen Fällen werden aus wasserlöslichen sauerstoffhaltigen KW und wässrigen Reinigern auch so genannte halb-wässrige Systeme zusammengestellt. Dabei können die beiden Stoffe zusammen oder auch hintereinander eingesetzt werden: Zum Beispiel Reinigen mit KW und Spülen mit Wasser oder umgekehrt. Mit sauerstoffhaltigen KW können zudem eine Vielzahl von Kleb- und Dichtstoffen, Harzen, Farben und Lacken gelöst werden.

Ein bedeutender Nachteil der sauerstoffhaltigen KW ist ihre leichte Entflammbarkeit. Die meisten Formulierungen müssen den VbF-Klassen A I oder B (siehe **Bild 5.55**) zugeordnet werden. Viele bilden bereits bei Raumtemperatur explosive Gemische mit der Umgebungsluft. Aus ihrer Leichtflüchtigkeit ergeben sich zudem umwelt- und arbeitsschutzrechtlich bedenkliche Immissionen in die Umgebungsluft. Die Reinigung findet daher in der Regel ohne Erwärmung und unter Dauerabsaugung oder in geschlossenen Anlagen statt.

Referenzen: /for99/, /her00/, /jel99/, /lei95c/, /NN96b/, /obe99/, /pet97/, /sch98a/, /wei69/

Ordnungsnummer -2.2 Emulsionsreiniger

Eine Emulsion ist allgemein ein Zweiphasengemisch aus zwei oder mehr nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten. Dabei bildet die Flüssigkeit, die in größerer Menge in dem Gemisch vorliegt, das Trägermedium, in dem die anderen Flüssigkeiten in Tröpfchenform verteilt vorliegen. Der Durchmesser der Tröpfchen schwankt zumeist zwischen 10^{-4} und 10^{-8} m. Je nach der vorliegenden Tröpfchengröße sind Emulsionen milchig trüb (Makroemulsion) bis klar (Mikroemulsionen). Grenzflächenaktive Substanzen, wie Tenside, unterstützen die Emulsionsbildung und wirken stabilisierend (siehe **Bild 5.53**).

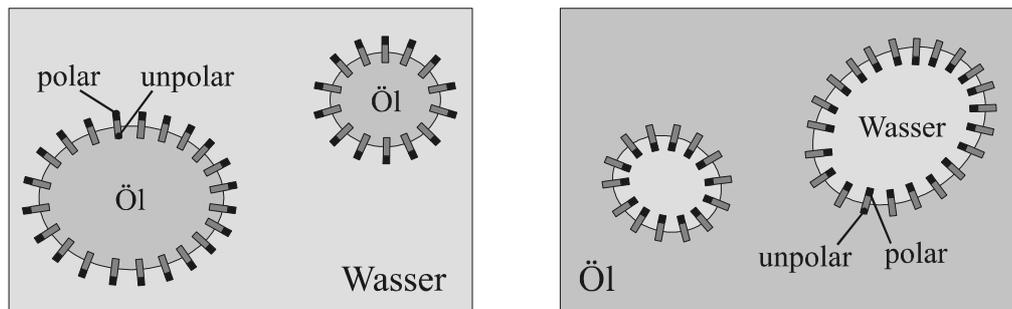


Bild 5.53 Stabilisierung von "Öl in Wasser"- und "Wasser in Öl"-Emulsionen durch Tenside

Reinigungsemulsionen werden vornehmlich aus Wasser und unpolaren Kohlenwasserstoffen gebildet. Sie lassen sich bezüglich ihrer Entmischungsneigung in stabile und instabile Emulsionen unterteilen. Instabile Emulsionen entmischen sich bei stehendem Bad schnell und bilden, je nach Dichte der emulgierten Komponenten, eine Boden- bzw. Deckschicht aus. Stabile Emulsionen entmischen sich auch bei minimaler Badbewegung nicht oder nur sehr langsam.

Der Hauptvorteil der Emulsionsreiniger liegt in ihrem universellen Lösevermögen. In der wässrigen Phase können polare Verunreinigungen, wie Pigmente und Salze, gelöst werden, während von der Kohlenwasserstoffphase unpolare Stoffe, wie Öle und Fette, aufgenommen werden. Daher können Emulsionen als Universalreinigungsmittel, auch bei unbekannter Schmutzzusammensetzung, eingesetzt werden. Die Reinigungswirkung gegenüber fest haftenden Verschmutzungen, wie eingebrannten Fetten oder Harzen, ist allerdings oft ungenügend. Nach der Trocknung verbleibt auf den gereinigten Flächen ein aus der Kohlenwasserstoffphase bestehender Film, der, je nach Anwendungsfall, störend oder auch als Korrosionsschutz erwünscht sein kann.

Typische Anwendungsfälle sind die Reinigung spanend bearbeiteter Teile aus nicht rostfreien Stählen für eine Zwischenlagerung, die Passivierung nach alkalischer oder neutraler Reinigung, das Entfetten vor einer Phosphatierung oder die Reinigung von Nichteisenmetallen, die zum Anlaufen neigen. Werden hohe Reinheitsgüten gefordert, wie z. B. in der Galvanik oder vor dem Emaillieren, können Emulsionsreiniger lediglich zur Vorreinigung eingesetzt werden. Sollen Teile mit wasserhaltigen KSS bearbeitet, anschließend gereinigt und für eine Zwischenlagerung konserviert werden, so kann oftmals der KSS selbst als Reinigungsemulsion verwendet werden.

Emulsionsreiniger sind in der Regel nicht brennbar und bilden bei fachgerechter Anwendung keine explosiven Gemische. Das Gefahrenpotential gegenüber dem Menschen und der Umwelt hängt im Wesentlichen von den toxischen Eigenschaften der Kohlenwasserstoffkomponente und ihrer Konzentration ab. Zumeist werden Gemische aus hoch siedenden Aliphaten eingesetzt.

Referenzen: /han97/, /leß98/, /NN97c/, /pet97/

Ordnungsnummer -3.1 Kohlenwasserstoffe

Bei Kohlenwasserstoff-Reinigern handelt es sich nicht um Einzelsubstanzen, sondern um Gemische aus halogenfreien, vornehmlich unpolaren Kohlenwasserstoffen, die gemäß dem Grundsatz "Gleiches löst Gleiches" zur Entfettung eingesetzt werden. Zumeist kommen Paraffine oder Naphtene zum Einsatz, da diese ein relativ hohes Lösevermögen für tierische, pflanzliche oder mineralische Fette und Öle aufweisen, aber hinsichtlich ihrer Umwelt- und Gesundheitsgefährdung weniger bedenklich sind als Aromate (siehe **Bild 5.54**). Die niedrige Oberflächenspannung sorgt für ein gutes Eindring- und Benetzungsvermögen und die geringe Verdampfungsenthalpie ermöglicht eine effektive Aufbereitung durch Destillation.

	Paraffine	Naphtene	Aromate	Terpene
Kennzeichen	KW-Ketten mit Einfach-, Doppel-, oder Dreifachbindungen	KW, in denen Ringe mit Einfachbindungen vorkommen	KW, in denen Ringe mit geteilten Doppelbindungen auftreten	Zum Teil komplexe KW, in denen Isopreneinheiten vorkommen
Struktur	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \dots - \text{C} - & \text{C} - & \text{C} - \dots \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>kettenförmiger KW</p>	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & \diagdown & / & \diagdown \\ \text{H} & \text{C} - & \text{C} & \text{H} \\ & / & \diagdown & / \\ & \text{C} & & \text{C} \\ & \diagdown & / & \diagdown \\ \text{H} & \text{C} - & \text{C} & \text{H} \\ & / & \diagdown & / \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ <p>cyclischer KW</p>	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} - & \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} - & \text{C} & & \text{C} - \text{H} \\ & \diagdown & / & \diagdown \\ & \text{C} = & \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$ <p>Benzolring</p>	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} & \text{H} \\ & \diagdown & / & \diagdown \\ & \text{C} = & \text{C} - & \text{C} = & \text{C} \\ & / & \diagdown & / & \diagdown \\ \text{H} & \text{H} - & \text{C} - & \text{H} & \text{H} \\ & & & & \\ & & \text{H} & & \end{array}$ <p>Isopreneinheit</p>
Beispiele	Hexan, Heptan, Oktan, Nonan	Cyclopentan Cyclohexan	Toluol, Benzol, Xylol, Phenol	Terpentinöl, Pinen, Limonen, Caren
Eigenschaften	Vielstoffgemische aus Erdöldestillation, unpolar, brennbar	Erdöldestillate, meist reaktionsfreudiger als Paraffine, brennbar	Sehr hohes Fettlösevermögen, jedoch stark toxisch, brennbar	meist pflanzlicher Herkunft, starker Geruch, z. T. toxisch, brennbar

Bild 5.54 Übersicht der wichtigsten Inhaltsstoffe von Kohlenwasserstoff-Reinigern

Viele Kohlenwasserstoffreiniger sind leicht entflammbar und bilden explosive Gemische mit der Umgebungsluft. Der Flammpunkt der Reiniger steigt mit dem Anteil langkettiger Moleküle in dem Gemisch an. Eine allgemeine Einteilung in Gefahrenklassen erfolgt in der Verordnung brennbarer Flüssigkeiten (siehe **Bild 5.55**).

Klasse	Definition	Beispiele
A I	nicht wassermischbare Flüssigkeiten mit Flammpunkt unter 21 °C	Waschbenzin, Benzol, Toluol
A II	nicht wassermischbare Flüssigkeiten mit Flammpunkt von 21 °C - 55 °C	Petroleum, Butanol, Xylol
A III	nicht wassermischbare Flüssigkeiten mit Flammpunkt von 55 °C - 100 °C	Aliphatangemische
B	wassermischbare Flüssigkeiten mit Flammpunkt unter 21 °C	Aceton, Isopropanol, Ethanol

Bild 5.55 Gefahrklasseneinteilung nach der Verordnung brennbarer Flüssigkeiten (VbF)

A I und A II-Produkte sind in der industriellen Anwendung nur selten zu finden. Zumeist werden Reiniger der Klasse A III bei Raumtemperatur eingesetzt, so dass ein Sicherheitsabstand von mindestens 15 °C zum Flammpunkt eingehalten wird. Für Anwendungen unter höherer Temperatur werden Hochsieder mit Flammpunkten oberhalb von 100 °C verwendet. Eine Dampfentfettung, Spritzreinigung oder Vakuumtrocknung erfolgt in der Regel nur unter derart verringertem Druck (< 12,5 kPa), dass bei einer möglicherweise auftretenden Explosion keine Druckerhöhung gegenüber dem Umgebungsdruck entsteht.

Referenzen: /for99/, /her00/, /her95/, /jel99/, /lei95c/, /luh99/, /NN96b/, /obe99/, /pet97/, /sch98a/

Ordnungsnummer -3.2 Chlorkohlenwasserstoffe

Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) besitzen physikalische und chemische Eigenschaften, die sie für problematische Reinigungsaufgaben nahezu unersetzlich machen. Dazu gehören niedrige Verdunstungszahlen, gutes Benetzungs- und Eindringvermögen, hohe chemische und thermische Stabilität, Nichtbrennbarkeit sowie ein hohes Lösevermögen für unpolare Stoffe. Derzeit sind in Deutschland noch drei CKW für die Oberflächenreinigung zugelassen (siehe **Bild 5.56**).

	Perchlorethylen	Trichlorethylen	Methylenchlorid
Strukturformel	$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{Cl} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{Cl} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Cl} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Cl} \quad \text{H} \end{array}$
Molekulargewicht	165,8	131,4	84,9
Gefrierpunkt bei 101,3 kPa	- 22,8 °C	- 86,7 °C	- 95,0 °C
Siedepunkt bei 101,3 kPa	121,1 °C	87,0 °C	39,7 °C
Dichte bei 20 °C	1,623 g/cm ³	1,465 g/cm ³	1,325 g/cm ³
Dampfdichte (Luft = 1)	5,76	4,53	2,93
Verdunstungsrate (Ether = 1)	9,5	3,1	1,8
Oberflächenspannung	32,3 dyn/cm	26,4 dyn/cm	28,1 dyn/cm
Verdunstungswärme bei Siedepunkt	50,1 cal/g	56,4 cal/g	78,9 cal/g
Zündtemperatur	keine	410 °C	662 °C
Flammpunkt DIN 51755/51758	keiner	keiner	keiner
Untere/Obere Explosionsgrenze	keine / keine	8,0 % / 9,2 %	14 % / 22 %
Löslichkeit H₂O in CKW (bei 25 °C)	0,0105 g/100 g	0,04 g/100 g	0,17 g/100 g
Löslichkeit CKW in H₂O (bei 25 °C)	0,015 g/100 g	0,1 g/100 g	1,7 g/100 g
Kauri-Butanol-Wert	90	129	136
MAK-Wert	50 ppm	50 ppm	100 ppm
Wassergefährdungsklasse	3	3	2

Bild 5.56 Eigenschaften der in Deutschland zur Bauteilreinigung zugelassenen CKW

CKW sind ausgezeichnete Lösemittel für Fette, Öle, Harze, Pech, Wachs, Asphalt, Bitumen und Paraffin. Anorganische Partikel, wie Metallabrieb, Späne oder Pigmente, können hingegen nicht gelöst, sondern nur durch mechanische Unterstützung dispergiert werden. Fest haftende polare Stoffe, wie z. B. Salze oder Korrosionsschichten, verbleiben in der Regel auf der Oberfläche. Die Materialverträglichkeit sollte im Einzelfall überprüft werden. Bei der Reinigung der meisten Gebrauchsmetalle, Gläser oder Keramiken treten keine chemischen Reaktionen auf. Zur Reinigung von Aluminiumlegierungen müssen stabilisierte CKW eingesetzt werden. Magnesiumlegierungen sollten generell nicht mit CKW gereinigt werden, da es hier zu einem Werkstoffangriff kommt. Kunststoffe und lackierte Flächen werden in vielen Fällen angelöst.

Der wesentliche Nachteil der CKW gegenüber anderen Lösemitteln ist ihre Toxizität. Aufgrund ihres hohen Fettlösevermögens werden sie leicht in menschliches Fettgewebe aufgenommen und tragen zum Krebsrisiko bei. Längerer oder wiederholter Kontakt kann zur Reizung der Haut und zur Bildung von Ekzemen führen. Nach der 2. Bundesimmissionsschutzverordnung ist die Verwendung von CKW daher nur noch in geschlossenen Anlagen mit Abluftkontrolle zulässig.

Referenzen: /fall00/, /frei90/, /fuh99/, /jel99/, /lei95a/, /lei95b/, /min91/, /NN90/, /NN96b/, /sti99/

Ordnungsnummer -3.3 Pflanzenölbasierte Reiniger

Pflanzenöle, wie Rapsöl, Sojaöl oder Kokosöl, können in industriellen Reinigungsprozessen als Ersatz für organische Lösemittel verwendet werden. Da reine Pflanzenöle im Allgemeinen eine zu hohe Viskosität besitzen und nicht stabil genug gegenüber Oxidation sind, werden ihre Fettsäuren zusammen mit Alkoholen verestert. Die so erzeugten Fettsäureester bestehen aus einer langen Kohlenwasserstoffkette mit gewöhnlich 10 bis 20 Kohlenstoffatomen und einer Estergruppe. Die Kohlenwasserstoffkette kann dabei sowohl gesättigt als auch ungesättigt, verzweigt oder unverzweigt auftreten. Der Ersatz von herkömmlichen Lösemitteln durch pflanzenölbasierte Reiniger bietet eine Reihe von technischen und wirtschaftlichen Vorteilen:

- pflanzenölbasierte Reiniger sind gut emulgierbar
- sie besitzen eine nur geringe Flüchtigkeit
- es werden keine Absaugvorrichtungen und Kapselungen benötigt
- die von ihnen ausgehende Gesundheitsgefährdung ist gering
- es besteht keine Kennzeichnungspflicht nach GefStoffV oder Chemikaliengesetz
- es müssen keine MAK-Werte eingehalten werden
- die Hautverträglichkeit ist deutlich besser als bei herkömmlichen KW-Reinigern
- Viskosität und Benetzungsvermögen liegen im Bereich herkömmlicher KW-Reiniger
- bei passender Produktzusammensetzung entsteht eine nur geringe Geruchsbelästigung
- sie sind in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft
- es erfolgt keine Eingruppierung nach VbF, da der Flammpunkt deutlich über 100 °C liegt
- sie verfügen über eine hohe Aufnahmefähigkeit für Fette und Öle
- der verbleibende Restfilm bietet einen temporären Korrosionsschutz
- pflanzliche Produkte sind besser biologisch abbaubar als erdölbasierte KW
- Ausgangsprodukte sind nachwachsende Rohstoffe

Pflanzenölbasierte Reiniger sind für eine Reihe von Reinigungsverfahren, wie Tauch-, Spritz-, Wisch- und Bürstreinigung, geeignet, können jedoch nicht ohne weiteres für die Dampfentfettung verwendet werden, da ihre Siedetemperaturen mit 200 bis 400 °C bereits im Bereich der Verdampfungstemperatur einiger Verunreinigungen liegen. Bezüglich ihres Lösevermögens stehen sie den herkömmlichen Lösemitteln nur wenig nach. Werkstoffunverträglichkeiten bestehen lediglich bei zinkhaltigen Metallen und einigen Kunststoffen. Einsatzbedingungen und Zusammensetzung der Esterprodukte müssen für eine optimale Reinigung der Art der Verschmutzung und den Erfordernissen nachfolgender Prozessschritte angepasst werden. So können z. B. Emulgatoren zugegeben werden, damit ein Abspülen von Reinigerresten mit Wasser erfolgen kann.

Aufgrund ihrer geringen Flüchtigkeit und geringen Toxizität können pflanzenölbasierte Reiniger in offenen Anlagen und in der Regel auch ohne Absaugung eingesetzt werden. Lediglich beim Verspritzen des Reinigers kann es bei ungünstigen Konstellationen zur Bildung explosionsfähiger Gemische mit der Umgebungsluft kommen. Es sind daher vorab die Voraussetzungen für ein Versprühen zu klären und entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu treffen.

Die Nachteile dieser noch relativ neuen Reiniger liegen in dem im Vergleich zu herkömmlichen Lösemitteln hohen Preis und den noch geringen Praxiserfahrungen. Der auf dem Bauteil verbleibende Restfilm kann, je nach Anwendungsfall, ebenfalls von Nachteil sein.

Referenzen: /gus98/, /NN01p/, /NN01q/, /sch96a/, /sch98b/, /wil98/

6 Vorbewertungssystem für Reinigungsverfahren und -mittel

Das im vorigen Kapitel erarbeitete Ordnungsschema hilft dem Konstrukteur, einen vollständigen Überblick über sämtliche dem Stand der Technik entsprechenden Wirkprinzipien der Reinigung zu erlangen. Aufgrund deren großer Anzahl ist es sinnvoll, zunächst eine Vorauswahl zu treffen. Lediglich gut für die gegebene Aufgabenstellung geeignete Wirkprinzipien sollten weiter verfolgt und bei der Kombination zu Lösungsvarianten für die Gesamtanlage berücksichtigt werden.

Für eine qualifizierte Vorauswahl ist ein hohes Maß an Expertenwissen über die Hintergründe, Randbedingungen und Einsatzgrenzen der Verfahrensalternativen erforderlich. In dem vorliegenden Kapitel soll daher ein rechnergestütztes Vorbewertungssystem geschaffen werden, welches auf Grundlage von hinterlegten Regeln die einzelnen Reinigungsverfahren und -mittel im Hinblick auf konkrete Aufgabenstellungen bewertet und dem Konstrukteur so eine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl geeigneter Wirkprinzipien liefert.

Zunächst wird ein auf dem in Kapitel 4 entwickelten Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen basierender Online-Fragebogen erstellt. In diesem Fragebogen sind die einzelnen Anforderungsklassen als Auswahlmöglichkeiten vorgegeben, so dass Reinigungsaufgaben auf einfache Art und Weise erfasst und softwaretechnisch verwertbar gemacht werden können.

Im nächsten Schritt werden Leitregeln für die Bewertung der Eignung sämtlicher Wirkprinzipien des in Kapitel 5 erarbeiteten Ordnungsschemas für die Teilfunktion "Reinigen" in Abhängigkeit von den im Online-Fragebogen spezifizierten Anforderungsklassen abgeleitet. Die Bewertung soll auf nachvollziehbaren und wissenschaftlich begründbaren Kriterien fußen, da so sichergestellt wird, dass nicht nur diejenigen Verfahren vorgeschlagen werden, die üblicherweise in derartigen Fällen zum Einsatz kommen, sondern auch neu entwickelte Verfahren mit noch geringer Verbreitung berücksichtigt werden. Lässt sich keine eindeutige Aussage bezüglich der Eignung eines Verfahrens treffen, soll zumindest über mögliche Probleme und Einschränkungen informiert werden.

Bei der Präsentation der Bewertungsergebnisse wird besonderes Augenmerk auf eine übersichtliche und informative Darstellung gelegt. Das Vorbewertungssystem soll dem Konstrukteur sowohl eine strukturierte Übersicht bieten, als auch über die der Bewertung zu Grunde liegenden Regeln informieren. Somit wird dem Konstrukteur ein Werkzeug zur gezielten Anwendung des Fachwissens aus dem Bereich der Bauteilreinigung zur aufgabenspezifischen Vorauswahl geeigneter Reinigungsprinzipien an die Hand gegeben.

6.1 Fragebogenkategorien und Leitregeln für die Verfahrenswahl

Die Eignung der unterschiedlichen Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel für eine gegebene Aufgabenstellung hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Einige dieser Faktoren sind leicht zu überschauen und führen zum eindeutigen Ausschluss bestimmter Varianten. Ein Bauteil aus thermoplastischem Kunststoff kann z. B. nicht mit thermischen Reinigungsverfahren gereinigt werden, die mit Verfahrenstemperaturen von mehreren hundert Grad Celsius arbeiten. Andere Faktoren sind hingegen weniger leicht zu überschauen, wie z. B. der mit einem bestimmten Verfahren erreichbare Reinheitsgrad.

6.1.1 Bauteilabmessung und -gewicht

Aus der Größe und dem Gewicht der zu reinigenden Bauteile können aufgrund physikalischer Zusammenhänge klare Entscheidungsregeln für die Verfahrenswahl abgeleitet werden. Die in Kapitel 4 geschaffenen Anforderungsklassen werden in Form zweier Auswahllisten im Online-Fragebogen umgesetzt (**Bild 6.1**). Für die Bewertung der Verfahrensalternativen können folgende Regeln abgeleitet werden:

Längste Abmessung des Bauteils		Bauteilgewicht	
keine Angabe	<input type="radio"/>	keine Angabe	<input type="radio"/>
unter 1 mm	<input type="radio"/>	unter 1 g	<input type="radio"/>
zwischen 1 mm und 10 mm	<input type="radio"/>	zwischen 1 g und 100 g	<input type="radio"/>
zwischen 10 mm und 100 mm	<input type="radio"/>	zwischen 100 g und 1 kg	<input type="radio"/>
zwischen 100 mm und 500 mm	<input type="radio"/>	zwischen 1 kg und 10 kg	<input type="radio"/>
zwischen 500 mm und 1000 mm	<input type="radio"/>	über 10 kg	<input type="radio"/>
zwischen 1000 mm und 5000 mm	<input type="radio"/>	Bauteil wird nicht bewegt	<input type="radio"/>
über 5000 mm	<input type="radio"/>		
Coilware	<input type="radio"/>		

Bild 6.1 Fragebogenkategorien: Bauteilabmessung und -gewicht

- Bauteile mit hohem Eigengewicht können aufgrund der Beschädigungsgefahr nicht in Trommeln oder Glocken gereinigt werden.
- Ein Entölen durch Schleudern oder Ausdrücken ist nur bei als Schüttgut gehandhabten Kleinteilen sinnvoll einsetzbar.
- Soll das Bauteil nicht bewegt werden, müssen sämtliche in Bädern, Trommeln, Öfen oder Kammern stattfindenden Verfahren ausgeschlossen werden.
- Sehr leichte Bauteile können nicht durch Abblasen, Absaugen oder Druckumfluten gereinigt werden, da sie von dem Luft- bzw. Reinigerstrom mitgerissen werden.
- Mechanische Reinigungsverfahren, die mit Werkzeugen durchgeführt werden, sollten bei sehr kleinen Bauteilen aufgrund von Handhabungsschwierigkeiten nicht angewendet werden.
- Bauteile mit geringem Eigengewicht verfügen über eine nur geringe Wärmekapazität. Daher ist das Dampffetten ineffektiv. Das Bauteil nimmt schnell die Temperatur des umgebenden Lösemitteldampfes an, und es findet keine weitere Kondensation auf der Oberfläche statt.
- Ein Entölen durch Eigenschwingungsanregung ist nur bei mittelgroßen bis großen, einzeln gehandhabten Teilen möglich. Bei Kleinteilen sind die Trägheitskräfte zu gering.
- Die Reinigung von Coilware im Durchlaufverfahren führt insbesondere bei Verfahren, die Gasatmosphären, Über- oder Unterdruck verwenden, zu erheblichen Schwierigkeiten.
- Verfahren mit mechanischer Unterstützung sind bei sehr leichten Bauteilen aufgrund der auftretenden Reaktionskräfte zumindest als problematisch einzustufen.
- Die bei den Strahlverfahren auftretenden Strahlkräfte können von sehr leichten Bauteilen oftmals nicht aufgenommen werden. Für eine differenzierte Beurteilung müssen der verwendete Strahl Druck, das Strahlmittel und die Bauteilhandhabung berücksichtigt werden.
- Reinigungsverfahren, die mit Druckkammern oder mit sehr heißen Bädern arbeiten, sind zur Reinigung großer Bauteile meist unwirtschaftlich.
- Bei großen Bauteilen oder Coilware sind Spritz- und Strahlverfahren den Badverfahren aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen in der Regel vorzuziehen.

Bezüglich der Eignung der unterschiedlichen Reinigungsmittel lassen sich aus der Bauteilgröße und dem Bauteilgewicht keine Einschränkungen ableiten.

6.1.2 Bauteilwerkstoff

Zur Spezifikation des Werkstoffs des zu reinigenden Bauteils wird eine Auswahlliste der 14 in Kapitel 4 beschriebenen Werkstoffklassen in den Online-Fragebogen aufgenommen (siehe **Bild 6.2**). Zur Beschreibung von Verbundteilen oder Baugruppen sind auch Mehrfachnennungen zulässig. In Abhängigkeit von dem vorliegenden Werkstoff können folgende Regeln abgeleitet werden:



Bild 6.2 Fragebogenkategorie: Bauteilwerkstoff

- Die elektrochemische Reinigung kann bei nicht leitenden Werkstoffen, wie Kunststoff, Glas oder Keramik, nicht angewendet werden.
- Die Prozesstemperaturen thermischer Verfahren sind i. A. zu hoch für Glas, Zinn, Blei und Kunststoff. Es ist mit einem Erweichen bzw. Anschmelzen zu rechnen. Eine Ausnahme bildet die Laserstrahlreinigung, bei der mit extrem hoher Leistungsdichte und kurzer Bearbeitungszeit gearbeitet wird, so dass die Wärmeeinflusszone vernachlässigbar klein bleibt.
- Gehärteter bzw. angelassener Stahl durchläuft bei erhöhter Temperatur unerwünschte Gefügeumwandlungen. Aus diesem Grunde sind alle thermischen Verfahren, mit Ausnahme der Laserstrahlreinigung, als ungeeignet einzustufen.
- Teile aus Magnesium können sich bei hohen Temperaturen leicht entzünden. Thermische Reinigungsverfahren dürfen daher nur in nicht oxidierenden Atmosphären eingesetzt werden.
- Aluminiumspäne können sich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit und Lösemitteldampf entzünden. Daher besteht beim Dampffentfetten von Aluminiumteilen Brandgefahr.
- Beim Dampffentfetten von Titan/Zirkon besteht die Gefahr der Spannungsrisskorrosion.
- Kunststoffteile neigen, je nach Geometrie und verwendetem Kunststoff, zum Aufschwimmen. Dies bereitet beim Einsatz von Badverfahren oftmals Probleme.

Zur Bewertung der Eignung der Reiniger in Hinsicht auf die einzelnen Werkstoffgruppen wird eine tabellarische Übersicht der Kompatibilitäten erarbeitet. Diese ist in **Bild 6.3** dargestellt.

	Unlegierter Stahl	Rostfreier Stahl	Stahl gehärtet/angelassen	Grau-/Temperguss	Aluminiumlegierung	Magnesiumlegierung	Messing	Bronze	Kupfer	Zink/Cadmium	Zinn/Blei	Titan/Zirkon	Glas/Keramik	Kunststoff
Neutralreiniger	+	+	+	+	+	0	0	0	0	+	+	+	+	+
Alkalische Reiniger	+	+	+	+	-	+	0	0	0	-	-	+	+	0
Saure Reiniger	0	+	0	0	0	-	0	0	0	-	+	0	+	+
Chlorkohlenwasserstoffe	+	+	+	+	0	-	+	+	+	+	+	+	+	0
Kohlenwasserstoffe (KW)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Sauerstoffhaltige KW	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Pflanzenölbasierte Reiniger	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	0
Wässrig/KW-Emulsionen	+	+	+	+	+	+	0	0	0	+	+	+	+	0

Bild 6.3 Kompatibilität der Werkstoffe mit den Reinigergruppen (+ geeignet; 0 problematisch; - ungeeignet)

6.1.3 Beschichtung des Bauteils

Eine möglicherweise vorhandene Oberflächenbeschichtung ist durch Wahl einer der in Kapitel 4 erarbeiteten Beschichtungsklassen zu spezifizieren. Zusätzlich ist anzugeben, ob die Beschichtung bei der Reinigung beschädigungsfrei erhalten bleiben soll, oder ob sie für nachfolgende Oberflächenbehandlungsschritte entfernt werden muss (siehe **Bild 6.4**).

Bild 6.4 Fragebogenkategorie: Bauteilbeschichtung

Soll die Beschichtung bei der Reinigung unbeschädigt bleiben, gelten folgende Leitregeln:

- Alle stark abrasiv wirkenden Verfahren müssen ausgeschlossen werden.
- Beim Abkratzen, Abschaben, Bürsten oder Fegen muss durch Einsatz eines weichen Werkzeuges sichergestellt werden, dass die Beschichtung nicht zerkratzt wird.
- Gleitschleifen ist nur bei Anpassung der Prozessparameter an die Beschichtung möglich.
- Bei den Strahlverfahren kann die Abrasionswirkung durch geeignete Wahl der Strahlparameter sowie Einsatz eines weichen Strahlmediums, z. B. Getreideschrot, angepasst werden.
- Thermische Reinigungsverfahren können nur bei temperaturbeständigen Beschichtungen eingesetzt werden. Organische Überzüge werden zersetzt.
- Bei der Laserstrahlreinigung können Leistungsdichte und Vorschub so gesteuert werden, dass der Schmutz verdampft, die darunter liegende Beschichtung hingegen unbeschädigt bleibt.
- Die elektrochemische Reinigung kann bei nicht leitenden Schichten nicht eingesetzt werden.
- Lösemittel, Laugen oder Säuren greifen organische Schichten in vielen Fällen an.

Die Leitregeln für die Wahl eines geeigneten Entschichtungsverfahrens lauten:

- Das Ablösen von Oberflächenschichten ist in vielen Fällen durch entsprechend gewählte Lösemittel, Laugen oder Säuren möglich. Zur Aufbringung der Flüssigkeit können unterschiedliche Verfahren, wie das Tauchen, das Spritzen, das Wischen usw., eingesetzt werden. Die immer strenger werdende Umweltgesetzgebung und steigenden Entsorgungskosten machen die Entschichtung durch aggressive Medien jedoch zunehmend unwirtschaftlich.
- Mit abrasiv wirkenden mechanischen Verfahren, wie dem Schleifen oder Abschaben, können nahezu beliebige Oberflächenschichten entfernt werden. Ein Problem dabei ist jedoch die schlechte Automatisierbarkeit und die damit verbundene geringe Wirtschaftlichkeit. Ausnahmen bilden hierbei das Bürsten von Profilen oder Bändern und das Gleitschleifen von Kleinteilen, welches beides gut zu automatisierende Prozesse sind.
- Bei der Entschichtung durch Strahlverfahren sind Strahlmittel und Strahl Druck auf die Beschichtung abzustimmen. Das CO₂-Pellet-Strahlen ist z. B. aufgrund der geringen Abrasionswirkung nicht für die Entfernung fest haftender anorganischer Beschichtungen geeignet.
- Thermische Verfahren sind für die Entfernung organischer Beschichtungen geeignet, da diese verdampft oder chemisch umgewandelt werden können. Anorganische oder metallische Schichten können hingegen nur durch Einsatz einer zusätzlichen mechanischen Reinigungskomponente, wie z. B. bei der Wirbelbettreinigung, entfernt werden.
- Mit der Laserstrahlreinigung und der Blitzlampenreinigung können Anstriche, Lack- und Kunststoffschichten schnell und effektiv entfernt werden. Metallische oder keramische Schichten verbleiben auf der Oberfläche.

6.1.4 Spezialfälle

Die Spezialfälle, welche zu Problemen bei der Reinigung führen können (siehe Kapitel 4), werden in dem Online-Fragebogen in Form von zu beantwortenden Ja/Nein-Fragen erfasst (siehe **Bild 6.5**). Eine nähere Erläuterung der einzelnen Fragen kann jeweils durch einen Info-Button abgefragt werden.

	Info	Ja	Nein	k. A.
Ist das Bauteil schöpfend?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ist das Bauteil nur lokal verschmutzt?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Müssen enge Spalte (< 1 mm) gereinigt werden?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ist das Teil gesintert/aus Pulver gepresst?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Werden die Bauteile als Schüttgut gehandhabt?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kann statischer Druck > 50 bar ihr Bauteil beschädigen?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hat das Teil abrasionsempfindliche Oberflächen?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Bild 6.5 Fragebogenkategorie: Spezialfälle

Schöpfende Bauteile bereiten insbesondere bei Badverfahren Schwierigkeiten. In den meisten Fällen kann durch eine geeignete Orientierung Abhilfe geschaffen werden. Schöpfende Bauteile führen daher nicht zum Verfahrensausschluss.

Liegen **Verschmutzungen nur lokal** vor, ist es meist sinnvoll, ein Reinigungsverfahren zu wählen, durch das die verschmutzten Stellen gezielt gereinigt werden können (z. B. durch Anlege- oder Anfahrdüsen bei der Spritzreinigung). Verfahren, die nur eine gleichmäßige Reinigung der gesamten Oberfläche erlauben, wie z. B. die Tauchreinigung, können ebenfalls eingesetzt werden, sind aber meist weniger effizient.

In **enge Spalte und Löcher** dringen Reinigungsflüssigkeiten nur schwer ein. Gut geeignet sind Flüssigkeiten mit geringer Viskosität und Oberflächenspannung oder Gase. Ultraschallunterstützung verbessert das Eindringvermögen, da durch die kurzzeitigen Druckstöße Reiniger in die Spalte gedrückt wird. Reinigungsverfahren, bei denen ein Feststoff als Reinigungsmittel eingesetzt wird, wie z. B. das Druckluftstrahlen, sind in aller Regel nicht geeignet.

Gesinterte bzw. aus Pulvern gepresste Teile besitzen kapillare Hohlräume, die nur schwer zu reinigen sind. Lediglich Reinigungsflüssigkeiten mit sehr geringer Viskosität und Oberflächenspannung, wie z. B. überkritisches Kohlendioxid, oder Gase dringen ohne Schwierigkeiten ein.

Für **Schüttgüter** eignen sich einige Reinigungsverfahren, wie z. B. die Trommelreinigung, in besonderem Maße. Andere Verfahren, wie z. B. das Abwischen oder das Ausklopfen, erfordern hingegen eine Einzelhandhabung der Teile. Sie sind bei Schüttgütern nicht wirtschaftlich.

Druckempfindliche Bauteile mit abgeschlossenen inneren Hohlräumen können bei der Reinigung mit verflüssigten Gasen aufgrund des dabei erforderlichen hohen statischen Drucks (mindestens 5 MPa, in der Regel ca. 15 MPa) deformiert werden.

Empfindliche Oberflächen schließen die Verwendung abrasiv wirkender Reinigungsverfahren aus. Dies betrifft unter anderem das Abkratzen/Abschaben, das Reinigungsschleifen und die Wirbelbetteinigung. Bei den Strahlverfahren kann die Abrasionswirkung durch geeignete Wahl der Verfahrensparameter, beispielsweise ein weiches Strahlmittel und die Herabsetzung des Strahlendrucks, oftmals gering genug gehalten werden. Die Reinigungswirkung wird hierbei jedoch gleichermaßen verringert.

6.1.5 Schmutzmenge

Bei der Beschreibung der vorliegenden Schmutzmenge ist der Anwender aufgefordert, eine visuelle Beurteilung seiner Bauteile vorzunehmen und dementsprechend eine der vorgegebenen Anforderungsklassen in dem Online-Fragebogen anzuwählen (siehe **Bild 6.6**). Diese grobe Klassifizierung ist ohne großen Aufwand durchführbar und erlaubt dennoch eine Vorauswahl geeigneter Reinigungsverfahren.

Beurteilung der Schmutzmenge 	
keine Angabe	<input type="radio"/>
Bauteile stehen in Öl/Schmutz	<input type="radio"/>
Bauteile sind stark verschmutzt	<input type="radio"/>
Bauteile sind leicht verschmutzt	<input type="radio"/>
Bauteile sind nach Augenschein sauber	<input type="radio"/>

Bild 6.6 Fragebogenkategorie: Schmutzmenge

1) Bauteile stehen in Öl/Schmutz: Für die Reinigung derart stark verschmutzter Bauteile bieten sich mechanische Grobreinigungsverfahren oder Strahl- und Spritzverfahren mit starker Spül- und Schwemmwirkung an. Flüssige Verunreinigungen können durch Ausdrücken, Schleudern, Abblasen oder Vibrationsreinigung wirkungsvoll verringert werden. Anhaftende Feststoffe können meist durch Abkratzen/Abschaben, Ausklopfen, Reinigungsschleifen, Bürsten/Fegen oder die unterschiedlichen Trocken- und Nassstrahlverfahren entfernt oder zumindest stark verringert werden. Durch thermische Reinigungsverfahren können zersetzbare Verschmutzungen meist vollständig entfernt werden. Badverfahren sollten aufgrund des großen eingetragenen Schmutzvolumens vermieden werden. Ist der Einsatz von Badverfahren unumgänglich, sollte aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen eine mehrstufige Reinigung mit Reinigerkaskade und einer anlageninternen Reinigeraufbereitung realisiert werden. Ist ein hoher Reinheitsgrad gefordert, empfiehlt sich der Einsatz eines der oben angesprochenen Verfahren zur Vorreinigung und eine anschließende Endreinigung durch ein Feinreinigungsverfahren.

2) Bauteile sind stark verschmutzt: Bauteile dieser Kategorie können mit entropischen Verfahren problemlos gereinigt werden, dabei sollte jedoch eine anlageninterne Badaufbereitung realisiert werden, um den Reinigerverbrauch und die Menge der zu entsorgenden Abwässer bzw. Reststoffe zu verringern. Das Dampfentfetten ist bei stark verschmutzten Bauteilen nur in Verbindung mit vorgeschalteten Tauch- oder Spritzstufen wirtschaftlich. Die unterschiedlichen Strahlverfahren sind mit Ausnahme des CO₂-Schnee-Strahlens gut geeignet. Thermische und mechanische Verfahren können bedenkenlos eingesetzt werden.

3) Bauteile sind leicht verschmutzt: Es können nahezu alle Reinigungsverfahren eingesetzt werden. Lediglich einige mechanische und thermische Verfahren sind ungeeignet, da mit ihnen keine weitere Verringerung der bereits geringen Schmutzmenge zu erreichen ist. Feinreinigungsverfahren sind prinzipiell einsetzbar, jedoch sollte aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zunächst eine Vorreinigung durch ein weniger aufwändiges Verfahren erfolgen.

4) Bauteile sind nach Augenschein sauber: Ist mit dem Auge bereits kein Schmutz mehr erkennbar, kann mit den meisten mechanischen und thermischen Verfahren keine Verbesserung der Reinheit mehr erzielt werden. Die überwiegende Zahl der strömungsmechanischen und entropischen Verfahren kann hingegen, bei entsprechender Wahl der Prozessparameter, eingesetzt werden. Chemische Reinigungsverfahren, wie die UV-Licht-Reinigung oder die Plasmareinigung, sind nur bei sehr geringen Schmutzmengen wirtschaftlich und sollten daher ausschließlich für Aufgaben dieser Kategorie eingesetzt werden.

6.1.6 Zusammensetzung der Verschmutzung

Die Zusammensetzung der vorliegenden Verschmutzung wird in Form einer Auswahlliste mit der Möglichkeit zur Mehrfachauswahl erfasst (**Bild 6.7**). Die sich daraus für die Wahl geeigneter Reinigungsverfahren ergebenden Bewertungskriterien sind äußerst vielfältig und werden an dieser Stelle lediglich beispielhaft beschrieben:



Bild 6.7 Fragebogenkategorie: Schmutzzusammensetzung

- Stark anhaftende Verschmutzungen, wie z. B. Oxide oder eingebrannte Fette, erfordern den Einsatz von abrasiv wirkenden Reinigungsverfahren oder aggressiven Reinigungsmitteln.
- Weniger stark anhaftende Verunreinigungen, wie z. B. Späne, KSS oder Staub, können auch durch bauteilschonendere Verfahren und weniger aggressive Reiniger entfernt werden.
- Einige Reinigungsverfahren, wie z. B. das Reinigungsschleifen, sind nur bei festen Verunreinigungen anwendbar, andere, wie das Vakuumentölen, nur bei flüssigen.
- Einige Reinigungsverfahren versagen bei spezifischen Schmutzarten, wie z. B. das Dampfentfetten bei Salzen oder die Ofenreinigung bei Spänen.
- Die Reinigung durch chemische Umwandlung ist nur bei bestimmten Schmutzarten möglich und erfordert eine Anpassung des Prozesses an die jeweilige Schmutzzusammensetzung.
- Thermische Reinigungsverfahren, die keine zusätzliche mechanische Komponente verwenden, sind nur bei zersetzbaren bzw. verdampfenden Verunreinigungen wirkungsvoll.

Bei den Reinigungsmitteln ist das Löseverhalten ausschlaggebend. Unpolare Lösemittel lösen unpolare Verschmutzungen, wie Fette oder Öle. Bei polaren Verschmutzungen, wie Salzen oder Pigmenten, versagen sie meist vollständig. Polare Reiniger lösen polare Verschmutzungen und emulgieren unpolaren Schmutz mit Hilfe von Tensiden. Eine tabellarische Zusammenstellung der Einsatzmöglichkeiten der unterschiedlichen Reiniger enthält **Bild 6.8**.

	Verseifbare Öle/Fette	Nicht verseifbare Öle/Fette	Wassermischbare KSS	Nicht wassermischbare KSS	Korrosionsschutzöle/-fette	Härteöle	Pigmentfreie Ziehmittel	Pigmenthaltige Ziehmittel	Läpp-/Hon-/Poliermittel	Pigmente, Graphit, MoS ₂	Schweiss/Fingerabdrücke	Späne, grobe Partikel	Schleifstaub/Strahlmittel	Oxide/Zunder/Korrosion	Salze/wasserlöslicher Schmutz	Anbackungen/Verkrustung	Metallseifen/eingebrannte Fette	Harze/Kunststoffe	Magnet-/Fluoreszenzpartikel	Wasserbasierte Farben/Lacke	Nicht wasserbasierte Farben/Lacke	Staub aus der Umwelt
Neutralreiniger	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	0	-	+	+	-	+
Alkalische Reiniger	+	0	+	+	+	+	0	0	+	0	0	0	0	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Saure Reiniger	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	0	+	-	+
Chlorkohlenwasserstoffe	+	+	-	+	+	+	0	0	+	0	+	+	+	-	-	0	+	0	+	-	+	+
Kohlenwasserstoffe (KW)	+	+	0	+	+	+	0	-	+	0	0	+	+	-	-	0	+	0	+	-	0	+
Sauerstoffhaltige KW	+	+	+	+	+	+	0	-	+	0	0	0	+	-	0	0	+	0	0	+	-	+
Pflanzenölbasierte Reiniger	+	+	0	+	+	+	0	-	+	0	+	+	+	-	-	0	-	0	+	-	-	+
Wässrig/KW-Emulsionen	+	+	+	+	+	+	0	-	+	0	0	+	+	-	+	+	-	+	0	-	-	+

Bild 6.8 Eignung der Reiniger für unterschiedliche Schmutzarten (+ geeignet; 0 bedingt geeignet; - nicht geeignet)

6.1.7 Reinheitsanforderungen

Bei der Spezifizierung der Reinheitsanforderungen ist der Anwender aufgefordert, seine Aufgabe in eine der in Kapitel 4 erarbeiteten Klassen einzuordnen. Eine Auflistung von typischen Beispielen dient ihm dabei als Orientierungshilfe (siehe **Bild 6.9**). Eine eindeutige Zuordnung geeigneter Reinigungsverfahren zu den Klassen ist nicht in allen Fällen möglich. Zum Beispiel kann das Abblasen sowohl zum groben Entspannen von Drehteilen als auch zur Feinreinigung von Automobilkarosserien für eine nachfolgende Lackierung eingesetzt werden. Bei anderen Verfahren existieren hingegen klar umrissene Einsatzgrenzen.

Angestrebter Reinheitsgrad ⓘ	
keine Angabe	⊙
Grobreinigung z. B. Gussstücke putzen, Stahlteile entrostet, Späne entfernen, Gebäude- und Fassadenreinigung, Instandhaltungsarbeiten, Reinigung von Transportbehältern, KFZ, Förderanlagen	○
Reinigung z. B. Vorbereitung für weitere Bearbeitung, Korrosionsschutzanstrich, Schweißen, Löten, Einbau, Verkauf, Lagerung, Reinigung im allgemeinen Maschinenbau, Reinigung für Dekorationszwecke	○
Feinreinigung z. B. Vorbereitung für Lackierung, Phosphatierung, Verchromung, Klebverbindung, Reinigung von optischen Gläsern, Schmuck, Teilen von Sauerstoffanlagen, Dichtungen, Triebwerken, Turbinen	○
Feinstreinigung z. B. Vorbereitung für galvanische Beschichtung, Einsatz in Reinräumen, Reinigung von Wafern, Elektronikkomponenten, Meßgeräten, chirurgischen Instrumenten, Laseroptiken, Präzisionsspiegeln	○

Bild 6.9 Fragebogenkategorie: Reinheitsanforderungen

1) Grobreinigung: Typische Grobreinigungsverfahren zur Entfernung von festem Schmutz sind das Abkratzen, Abschaben, Ausklopfen, Reinigungsschleifen, Bürsten, Fegen, Abblasen, Absaugen, Flammstrahlen, Druckluftstrahlen, Schleuderstrahlen oder Druckflüssigkeitsstrahlen. Zur Entfernung flüssiger Verunreinigungen, z. B. beim Vorentölen, werden oftmals das Abwischen, Schleudern, Ofenreinigen, Ausdrücken oder die Vibrationsreinigung eingesetzt. Beim Einsatz entropischer Verfahren sollte auf Lösemittel und aggressive Reinigungschemikalien verzichtet werden, um den Anlagenaufwand und die Kosten nicht unnötig in die Höhe zu treiben.

2) Reinigung: Für diese Aufgabenkategorie können prinzipiell alle Reinigungsverfahren eingesetzt werden. Lediglich die mechanischen Grobreinigungsverfahren Abkratzen, Abschaben, Ausklopfen, Schleudern, Vibrationsreinigung, Ausdrücken und Absaugen erreichen hier, je nach vorliegendem Schmutz, bereits ihre Einsatzgrenze. Verfahren mit hohem apparativem Aufwand sollten aus Kostengründen nicht eingesetzt werden.

3) Feinreinigung: Für derartige Reinigungsaufgaben werden zumeist chemische oder entropische Reinigungsverfahren eingesetzt. Die mit den oben aufgezählten Verfahren erzielbaren Reinigungsgüten sind in der Regel nicht mehr ausreichend. Da die Anforderungen jedoch je nach Einsatzfall stark variieren und auch bei genauer Kenntnis des Nachfolgeprozesses nur schwer vorzusagen sind, können nur in wenigen Fällen klare Ausschlusskriterien formuliert werden.

4) Feinstreinigung: Verfahren, die speziell für die Feinstreinigung entwickelt wurden, sind das CO₂-Schnee-Strahlen, die Plasmareinigung, die UV-Licht-Reinigung sowie die elektrochemische Reinigung. Ebenfalls einsetzbar sind unterschiedliche entropische Reinigungsverfahren, wobei die erreichbare Oberflächenreinheit in hohem Maße von der geeigneten Wahl des Reinigungsmittels und der Qualität der Aufbereitung abhängt. Hohe Reinheitsgrade können insbesondere durch Dampfentfetten oder Reinigung mit flüssigem bzw. überkritischem CO₂ erreicht werden, da hier die Reinigeraufbereitung durch Destillation ein integraler Bestandteil des Verfahrens ist. Zur Entfernung von Partikelschmutz ist eine Unterstützung durch Ultraschall gut geeignet. Liegen ausschließlich verdampfbare Verunreinigungen vor, kann eine Feinstreinigung auch durch Vakuumtölen erfolgen.

6.1.8 Anlagendaten

Um die ungefähre Größe der erforderlichen Reinigungsanlage einordnen zu können, werden in dem Online-Fragebogen die maximale Summe, die der Anwender zu investieren bereit ist, sowie der geschätzte Teiledurchsatz der Anlage in Kilogramm pro Stunde erfragt (siehe **Bild 6.10**). Diese Kenndaten lassen allerdings nur bedingt Rückschlüsse auf geeignete Wirkprinzipien zu.

Maximale Investitionskosten		Teiledurchsatz in kg/h	
keine Angabe	<input type="radio"/>	keine Angabe	<input type="radio"/>
bis 500 EUR	<input type="radio"/>	bis 1 kg/h	<input type="radio"/>
bis 5.000 EUR	<input type="radio"/>	bis 10 kg/h	<input type="radio"/>
bis 25.000 EUR	<input type="radio"/>	bis 100 kg/h	<input type="radio"/>
bis 50.000 EUR	<input type="radio"/>	bis 1.000 kg/h	<input type="radio"/>
bis 250.000 EUR	<input type="radio"/>	bis 10.000 kg/h	<input type="radio"/>
über 250.000 EUR	<input type="radio"/>	über 10.000 kg/h	<input type="radio"/>

Bild 6.10 Fragebogenkategorien: Anlagenkosten und Durchsatz

Jede Investitionsentscheidung kann nur auf Grundlage einer Investitionsrechnung getroffen werden. Diese berücksichtigt alle zu erwartenden Kosten, also die Investitions- und die Betriebskosten inklusive der kalkulatorischen Kosten. In der frühen Phase der Konzeptfindung fehlen jedoch oft wichtige Informationen, um die Betriebskosten im Vorhinein abschätzen zu können. Daher ist auch eine Aussage bezüglich der maximal möglichen Investitionskosten, bei denen die Anlage noch wirtschaftlich betrieben werden kann, schwer möglich. Sollten jedoch die unbekanntesten Betriebskostenfaktoren ungefähr abgeschätzt werden können, so ist eine Rückrechnung auf die maximal möglichen Investitionskosten im Rahmen der Investitionsrechnung möglich. Diese können dann als Ausschlusskriterium für Wirkprinzipien mit sehr hohem Anlagenaufwand herangezogen werden. Können zum Beispiel maximal 25.000 EUR investiert werden, müssen das CO₂-Pellet-Strahlen, die Reinigung mit überkritischem bzw. flüssigem Kohlendioxid, die Blitzlampenreinigung und die Laserstrahlreinigung als Wirkprinzipien ausgeschlossen werden.

Da jedoch neben dem Reinigungsverfahren eine Vielzahl weiterer Faktoren, wie die Zuführung und Handhabung der zu reinigenden Teile, der Automatisierungsgrad, die Zusatzeinrichtungen zur Badaufbereitung usw., die Anlagenkosten bestimmen, ist es in vielen Fällen nicht möglich, aus der maximalen Investitionssumme Ausschlusskriterien für bestimmte Reinigungsverfahren zu formulieren. Dies soll durch folgendes Beispiel veranschaulicht werden: Die Reinigung eines PKW kann im einfachsten Fall mit einem Wischtuch von Hand erfolgen, oder es kann auch eine vollautomatisch arbeitende Autowaschanlage eingesetzt werden. Obwohl in beiden Fällen das gleiche Reinigungsverfahren und das gleiche Reinigungsmittel eingesetzt werden, differieren die erforderlichen Investitionskosten stark.

Der Teiledurchsatz ist ein wichtiges Kriterium für die Gestaltung einer Reinigungsanlage. Er hat hingegen keinen direkten Einfluss auf die Wahl des Wirkprinzips der Reinigung, da jedes Reinigungsverfahren bei entsprechender Anlagenauslegung und Investitionssumme für nahezu beliebige Durchsatzmengen geeignet ist. Der Teiledurchsatz wird lediglich für eine mögliche spätere Erweiterung des Vorbewertungssystems mit in den Fragebogen aufgenommen.

6.2 Bewertungsverfahren

Auf Grundlage der erarbeiteten Leitregeln kann nun für jedes einzelne Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel des in Kapitel 5 erarbeiteten Ordnungsschemas im Hinblick auf jede der im Fragebogen anwählbaren Kategorien eine Beurteilung der Eignung vorgenommen werden. Dabei werden die folgenden drei Stufen der Eignung vergeben:

- **Verfahren/Reiniger ist gut geeignet (Kurzzeichen: "+"):** Diese Bewertungsstufe wird immer dann gewählt, wenn aus der Angabe in dem Fragebogen keine Einschränkung bezüglich der Eignung abzuleiten ist. Ein Beispiel hierfür wäre die Eignung des Reinigungsverfahrens "Tauchreinigung" im Hinblick auf die Angabe "Bauteilwerkstoff: gehärteter Stahl". Hier lassen sich bei isolierter Betrachtung der gewählten Bewertungskategorie keinerlei Einschränkungen für das betrachtete Verfahren ableiten.
- **Verfahren/Reiniger ist bedingt geeignet (Kurzzeichen: "0"):** Diese Bewertungsstufe wird vergeben, wenn aus der Angabe in dem Fragebogen Probleme resultieren oder unter bestimmten Umständen resultieren können, die jedoch nicht zum klaren Ausschluss des Verfahrens bzw. Reinigers führen. Ein Beispiel hierfür wäre die Eignung des Verfahrens "Dampfentfetten" im Hinblick auf die Bewertungskategorie "Bauteilwerkstoff: gehärteter Stahl". Das Dampfentfetten findet bei erhöhter Temperatur im Lösemitteldampf statt. Durch die erhöhte Temperatur kann es zu unzulässigen Gefügeumwandlungen kommen. Ob dieser Fall eintritt, hängt von weiteren Faktoren wie dem Siedepunkt des verwendeten Lösemittels und der Einwirkungszeit ab. Es kann daher kein klares Ausschlusskriterium formuliert werden. Das Verfahren kann eingesetzt werden, wenn das beschriebene Problem für den konkreten Fall nicht eintritt. Bei der Vergabe einer bedingten Eignung ist es für den Anwender von besonderer Bedeutung, eine nachvollziehbare Begründung hierfür zu erhalten. Er muss auf die möglicherweise auftretenden Probleme aufmerksam gemacht werden, so dass er beurteilen kann, ob sie in seinem Einsatzfall auftreten können. Daher wird zu jeder bedingten Eignung ein kurzer Begründungstext formuliert, der dem Anwender auf Wunsch präsentiert wird.
- **Verfahren/Reiniger ist nicht geeignet (Kurzzeichen: "-"):** Diese Bewertungsstufe wird vergeben, wenn ein klares Ausschlusskriterium abgeleitet werden kann. Ein Beispiel hierfür wäre die Eignung des Reinigungsverfahrens "Ofenreinigung" im Hinblick auf die Bewertungskategorie "Bauteilwerkstoff: gehärteter Stahl". Bei der Ofenreinigung werden Verunreinigungen bei bis zu 750 °C und langen Behandlungszeiten thermisch zersetzt. Bei gehärtetem Stahl kommt es dabei zu Anlassvorgängen. Das Verfahren ist daher nicht geeignet und wird dem Anwender nicht empfohlen. Auch für derartige Ausschlusskriterien wird jeweils ein kurzer Begründungstext hinterlegt, damit der Anwender sich bei Bedarf über die der Verfahrensauswahl zu Grunde liegenden Kriterien informieren kann. Dies macht den Entscheidungsprozess transparenter und nachvollziehbarer.

Die Zuordnung der 43 im Rahmen dieser Arbeit abgegrenzten Reinigungsverfahren und 8 Reinigergruppen zu den 87 anwählbaren Einzeloptionen des Fragebogens liefert entsprechend umfangreiche Tabellen mit einigen tausend Einträgen. Diese Daten sind mit entsprechenden Begründungstexten verknüpft und in einer internetbasierten MySQL-Datenbank hinterlegt.

6.3 Ergebnisdarstellung

Nachdem der Anwender sein Reinigungsproblem in dem vorgegebenen Fragebogen spezifiziert hat, werden die gemachten Angaben auf einen Webserver übertragen. Dort werden sie von einem in der Schnittstellensprache PHP geschriebenen Programm ausgewertet. Auf Grundlage der in der MySQL-Datenbank hinterlegten Auswahlkriterien wird eine fallspezifische Eignungstabelle erstellt, die an den Arbeitsplatzrechner des Anwenders zurückgesandt wird. Diese Eignungstabelle liefert eine komprimierte Übersicht der Eignung der einzelnen Reinigungsverfahren für die konkrete Aufgabenstellung (Beispiel siehe **Bild 6.11**).

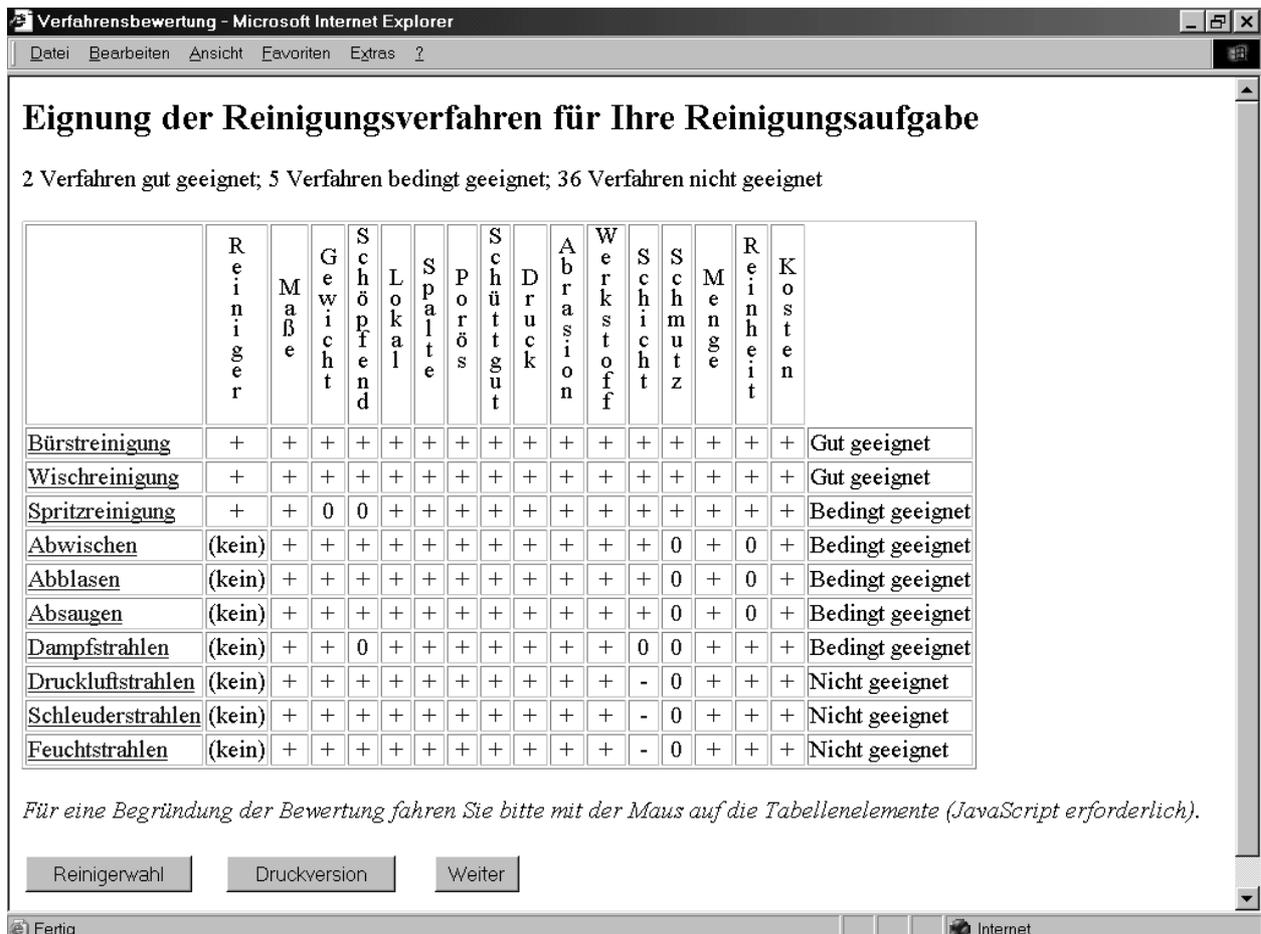


Bild 6.11 Ergebnisdarstellung durch Eignungstabelle (beispielhaft)

In den Zeilen der Tabelle werden die Reinigungsverfahren und in den Spalten die Bewertungskategorien aus dem Fragebogen angeordnet. In den einzelnen Zellen wird das Kurzzeichen der jeweiligen Eignungsstufe (siehe Abschnitt 6.2) vermerkt. Die letzte Spalte enthält ein zusammenfassendes Urteil: Ein Verfahren, welches hinsichtlich sämtlicher Einzelkategorien als gut geeignet ("+") bewertet wurde, erhält als Gesamturteil ein "Gut geeignet". Liegt mindestens eine bedingte Eignung ("0"), jedoch kein Ausschlusskriterium ("-") vor, erhält das Verfahren das Gesamturteil "Bedingt geeignet". Sämtliche Verfahren, bei denen zumindest ein Ausschlusskriterium ("-") erfüllt ist, werden mit dem Gesamturteil "Nicht geeignet" versehen. Die Verfahren werden entsprechend ihrer Eignung in absteigender Reihenfolge sortiert. Dabei dient die Anzahl der Ausschlusskriterien ("-") als erstes und die Anzahl der Einschränkungen ("0") als zweites Sortierkriterium.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und zur Reduzierung der Übertragungszeiten werden zunächst nur die zehn Verfahren mit der besten Eignung dargestellt. Alle weiteren Verfahren können auf Wunsch in entsprechenden Zehner-Blöcken abgerufen werden. Für die Reinigungsmittel wird eine analog aufgebaute Tabelle erstellt.

Die einzelnen Zellen der Bewertungstabelle sind mit Hilfe von in die HTML-Seite eingebetteten JavaScript-Routinen mit interaktiv aufrufbaren Begründungstexten versehen. Diese erscheinen beim Überfahren mit dem Mauszeiger in einem Informationsfenster (siehe **Bild 6.12**).

Eignung der Reinigungsverfahren für Ihre Reinigungsaufgabe
 2 Verfahren gut geeignet; 5 Verfahren bedingt geeignet; 36 Verfahren nicht geeignet

	Reiniger	Maße	Gewicht	Schöpfend	Lokal	Spalte	Porös	Schüttgut	Druck	Abrasion	Werkstoff	Schicht	Schmutz	Menge	Reinheit	Kosten	
Bürstreinigung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Gut geeignet
Wischreinigung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Gut geeignet
Spritzreinigung	+	+	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Bedingt geeignet
Abwischen	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Bedingt geeignet
Abblasen	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Bedingt geeignet
Absaugen	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	0	+	+	Bedingt geeignet
Dampfstrahlen	(kein)	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	0	0	+	+	+	Bedingt geeignet
Druckluftstrahlen	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	+	+	+	Nicht geeignet
Schleuderstrahlen	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	+	+	+	Nicht geeignet
Feuchtstrahlen	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	0	+	+	+	Nicht geeignet

Für eine Begründung der Bewertung fahren Sie bitte mit der Maus auf die Tabellenelemente (JavaScript erforderlich).

Reinigerwahl Druckversion Weiter

Bild 6.12 Interaktive Begründungstexte in der Eignungstabelle (beispielhaft)

Durch diese Art der Ergebnisdarstellung wird auf der einen Seite eine schnelle Übersicht über die für das Problem geeignet erscheinenden Reinigungsverfahren gegeben, auf der anderen Seite können die der Beurteilung zu Grunde liegenden Kriterien aber auch ausführlich analysiert werden, so dass die Verfahrensbewertung für den Anwender durchschaubar und nachvollziehbar wird. Die Verfahrensnamen in der ersten Spalte der Tabelle sind direkt mit den entsprechenden Unterabschnitten in der Wissensbasis (siehe Kapitel 7) verlinkt. Auf diese Weise wird der Anwender auf direktem Wege zu den Informationen geleitet, die für ihn von Interesse sind.

6.4 Fallbeispiel

Die Funktionsweise des Auswahlsystems soll nun anhand eines Fallbeispiels verdeutlicht werden. In diesem Fallbeispiel sollen Kunststofflinsen für das Aufdampfen einer Entspiegelungsschicht vorbereitet werden. Es soll davon ausgegangen werden, dass die Linsen bereits mit einem Neutralreiniger vorgereinigt und getrocknet wurden, so dass mit dem bloßen Auge bereits keine Verunreinigungen mehr zu erkennen sind. Da jedoch auch geringste Restbeschmutzungen zu einer verminderten Haftfestigkeit der Entspiegelungsschicht oder optischen Fehlern führen können, ist eine Feinstreinigung in einem zweiten Reinigungsschritt erforderlich. Die Reinigungsaufgabe wird durch die Kratzempfindlichkeit der Linsen erschwert. Der Anwender ist bereit, bis zu 25.000 EUR in eine entsprechende Reinigungsanlage zu investieren. Entsprechend dieser Vorgaben sind die folgenden Angaben in dem Online-Fragebogen zu machen:

Bauteilgewicht:	Zwischen 1 g und 100 g
Längste Abmessung:	Zwischen 10 mm und 100 mm
Bauteilwerkstoff:	Kunststoff
Beschichtung:	Keine
Spezialfälle:	Abrasionsempfindliche Oberflächen
Verunreinigungen:	Unbekannt
Schmutzmenge:	Teile sind nach Augenschein sauber
Reinheitsanforderungen:	Feinstreinigung
Max. Investitionskosten:	Bis 25.000 EUR

Bild 6.13 zeigt die für diese Angaben ermittelte Bewertungstabelle. Von den 43 in dem System berücksichtigten Reinigungsverfahren sind lediglich 2 uneingeschränkt geeignet, 5 Verfahren sind bedingt geeignet und 36 Verfahren können für die gegebene Reinigungsaufgabe ausgeschlossen werden.

Eignung der Reinigungsverfahren für Ihre Reinigungsaufgabe

2 Verfahren gut geeignet; 5 Verfahren bedingt geeignet; 36 Verfahren nicht geeignet

	Reiniger	Maße	Gewicht	Schöpfend	Lokal	Spalte	Porös	Schüttgut	Druck	Abrasion	Werkstoff	Schicht	Schmutz	Menge	Reinheit	Kosten	
<u>UV-Licht-Reinigung</u>	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Gut geeignet
<u>Plasma-Reinigung</u>	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Gut geeignet
<u>Ultraschallreinigung</u>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	Bedingt geeignet
<u>CO2-Schnee-Strahlen</u>	(kein)	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Bedingt geeignet
<u>Vakuumentölen</u>	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	Bedingt geeignet
<u>Dampfentfetten</u>	+	+	0	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	0	Bedingt geeignet
<u>Bürstreinigung</u>	+	+	0	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	Bedingt geeignet
<u>Laserstrahlreinigung</u>	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	Nicht geeignet
<u>Elektrochemische-Reinigung</u>	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	Nicht geeignet
<u>Biologische-Reinigung</u>	(kein)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	Nicht geeignet

Für eine Begründung der Bewertung fahren Sie bitte mit der Maus auf die Tabellenelemente (JavaScript erforderlich).

Reinigerwahl Druckversion Weiter

Bild 6.13 Fallbeispiel: Eignung der Reinigungsverfahren

Im Folgenden werden die Einschränkungen und Ausschlusskriterien, die bei den einzelnen Reinigungsverfahren berücksichtigt werden, kurz erläutert:

Bei der **UV-Licht-Reinigung** (Ordnungsnummer 5.0.1) handelt es sich um ein noch im Versuchsstadium befindliches Reinigungsverfahren, welches besonders für eine abrasionsfreie Feinstreinigung nur sehr leicht verschmutzter Oberflächen geeignet ist. Für das Fallbeispiel ergeben sich keinerlei bekannte Einschränkungen.

Die **Plasmareinigung** (Ordnungsnummer 5.0.2) ist ein ebenfalls berührungslos arbeitendes Feinstreinigungsverfahren, welches für die gegebene Aufgabenstellung uneingeschränkt geeignet ist und in der Praxis in derartigen Fällen häufig eingesetzt wird.

Die **Ultraschallreinigung** (Ordnungsnummer 1.6.1) ist nur bedingt geeignet. Ein Problem kann ein Aufschwimmen der Kunststofflinsen im Ultraschallbecken darstellen. Wird dies durch entsprechende Warengestelle verhindert, kann das Verfahren eingesetzt werden.

Bei dem **CO₂-Schnee-Strahlen** (Ordnungsnummer 2.4.2) handelt es sich um ein erst vor einigen Jahren für die oberflächenschonende Feinstreinigung entwickeltes Strahlverfahren. Für das gegebene Fallbeispiel ergibt sich jedoch eine Einschränkung aufgrund des geringen Eigengewichtes der zu reinigenden Linsen. Die Linsen werden unter Umständen durch den Strahldruck fortgeblasen. Werden die Linsen in einer entsprechenden Aufnahme gehalten, kann das CO₂-Schnee-Strahlen eingesetzt werden.

Mit dem **Vakuumentölen** (Ordnungsnummer 4.3.1) können bei Raumtemperatur verdampfbare Verunreinigungen nahezu vollständig entfernt werden. Nicht verdampfbare Bestandteile, wie z. B. Stäube aus der Umwelt, bleiben hingegen zurück. Eine Feinstreinigung ist daher nur bei bestimmten Verschmutzungsarten (in dem Anwendungsbeispiel nicht bekannt) und unter Raumbedingungen zu erreichen.

Bei dem **Dampfentfetten** (Ordnungsnummer 1.1.2) treten drei Einschränkungen auf. Erstens ist das Bauteilgewicht und damit die Wärmekapazität der Linsen relativ gering, so dass es schnell zu einem Temperatenausgleich kommt, der das Kondensieren des Lösemitteldampfes auf der Oberfläche stoppt. Zweitens können die Linsen aufgrund der hohen Verfahrenstemperatur, je nach verwendetem Lösemittel und Art des Kunststoffes, Schaden nehmen. Drittens ist der Finanzrahmen mit 25.000 EUR für eine Dampfentfettungsanlage zu gering.

Mit der **Bürstreinigung** (Ordnungsnummer 1.3.1) können Verunreinigungen bei Einsatz geeigneter Reinigungsmittel nahezu vollständig entfernt werden. Dies setzt jedoch voraus, dass abgelöste Verunreinigungen vor dem Trocknen der Teile vollständig ab gespült werden. Weitere Einschränkungen ergeben sich zum einen durch das geringe Teilgewicht, aufgrund dessen u. U. eine Fixierung der Linsen nötig wird, und zum anderen durch die Kratzempfindlichkeit der Linsen, die den Einsatz besonders weicher Bürsten und geringer Anpresskräfte erfordert, was wiederum das Reinigungsergebnis negativ beeinflusst.

Die **Laserstrahlreinigung** (Ordnungsnummer 4.4.1) ist für die gegebene Aufgabenstellung nicht geeignet, da die maximalen Investitionskosten deutlich überschritten werden.

Die **Elektrochemische-Reinigung** (Ordnungsnummer 1.7.1) kann nicht eingesetzt werden, da es sich in dem Fallbeispiel um nicht leitende Kunststoffteile handelt.

Durch eine **biologische Reinigung** (Ordnungsnummer 1.5.1) kann die geforderte Reinheit nicht sichergestellt werden.

Die verbleibenden 33 Reinigungsverfahren scheiden ebenfalls aufgrund eines oder mehrerer Ausschlusskriterien aus und werden hier aus Gründen der Übersicht nicht aufgeführt. Entscheidet sich der Anwender für eine Ultraschallreinigung, Dampfentfettung oder Bürstreinigung, muss im nächsten Schritt ein geeignetes Reinigungsmittel gewählt werden. Die Eignungstabelle der Reinigungsmittel für das Fallbeispiel zeigt **Bild 6.14**.

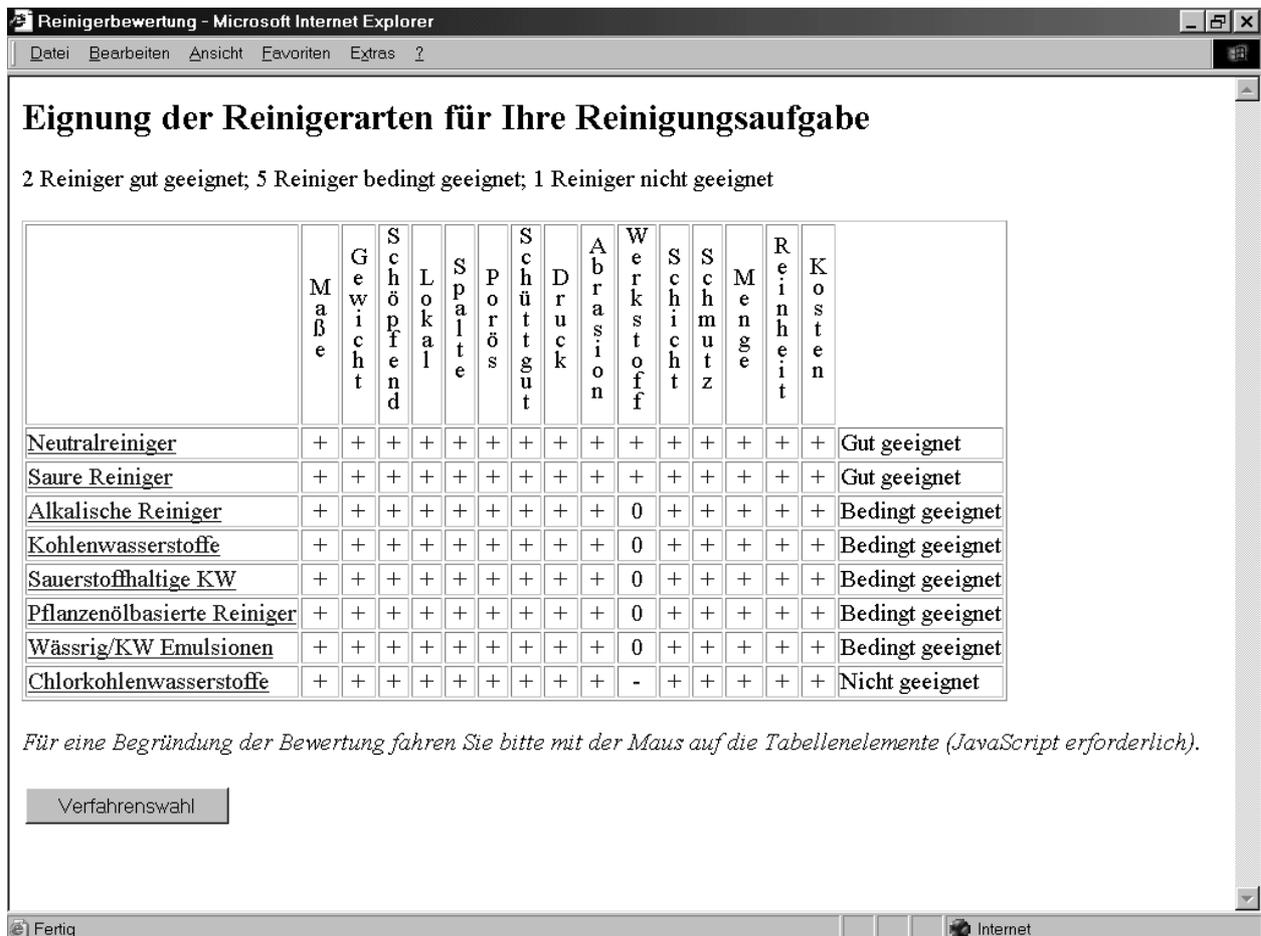


Bild 6.14 Fallbeispiel: Eignung der Reinigungsmittel

Da in dem Fragebogen die Zusammensetzung der Verschmutzung als unbekannt angegeben wurde, fällt für die Wahl eines geeigneten Reinigungsmittel eine wichtige Grundlage fort. Es liegen auch keine geometrischen oder anderweitigen Besonderheiten vor, aus denen sich Auswahlkriterien ableiten ließen. Lediglich die Verträglichkeit des Bauteilwerkstoffes mit den einzelnen Reinigergruppen kann zur Beurteilung der Eignung herangezogen werden. Das Ergebnis der Beurteilung lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

Neutralreiniger und saure Reiniger greifen Kunststoffe nicht an und können daher ohne Bedenken eingesetzt werden. Chlorkohlenwasserstoffe lösen die meisten Kunststoffe an und müssen daher ausgeschlossen werden. Alle anderen Reinigergruppen sind bedingt geeignet, das heißt, die Reinigerformulierung ist auf die Art des zu reinigenden Kunststoffes abzustimmen, so dass es zu keinem Werkstoffangriff kommt.

Das Fallbeispiel zeigt, dass durch das Zusammenspiel vieler Einzelkriterien eine relativ enge Eingrenzung der einsetzbaren Reinigungsverfahren und -mittel möglich ist. Je genauer der Anwender seine Reinigungsaufgabe in dem Fragebogen spezifiziert, um so mehr Ausschlusskriterien können abgeleitet werden. Das ausschließlich auf wissenschaftlich begründbaren Kriterien fußende Auswahlverfahren stellt dabei sicher, dass nicht nur althergebrachte Methoden aufgegriffen, sondern auch neue Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Für das Fallbeispiel werden neben den in der industriellen Praxis für derartige Anwendungen am häufigsten verwendeten Verfahren Plasmareinigung, Dampfentfetten, Bürstreinigung und Ultraschallreinigung auch die relativ jungen und noch wenig eingesetzten Verfahren UV-Licht-Reinigung und CO₂-Schnee-Strahlen vorgeschlagen. Der Anwender wird auf diese Weise objektiv über alle Alternativen informiert und erhält möglicherweise neue Denkanstöße zur Lösung seiner Reinigungsaufgabe.

7 Wissensbasis als Hilfe bei der Feinbewertung

Das im vorangegangenen Kapitel erarbeitete Vorbewertungssystem liefert dem Anwender eine komprimierte Übersicht der Eignung der unterschiedlichen Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel für seine gegebene Aufgabenstellung und kann als Grundlage für eine qualifizierte Vorauswahl dienen. Eine Feinbewertung der verbliebenen Lösungsvarianten ist nur für den konkreten Einzelfall möglich und erfordert ein hohes Maß an Fachwissen hinsichtlich der Reinigungstechnik. Dieses Fachwissen soll in einer umfangreichen Wissensbasis hinterlegt werden, welche eine vertiefende Recherche zulässt und dem Konstrukteur konkrete Hilfestellung bei der Prozessauslegung und Anlagengestaltung gibt. Die Umsetzung der Wissensbasis in Form eines Online-Lexikons ermöglicht einen einfachen und schnellen Zugang zu den Fachinformationen und bietet die Möglichkeit, mit Hyperreferenzen auf verwandte Themengebiete oder externe Quellen zu verweisen und Volltextrecherchen durchzuführen. Die Wissensbasis wird in drei Hauptbereiche gegliedert, welche Fachinformationen zu den Grundlagen der industriellen Bauteilreinigung, zu den einzelnen Reinigungsverfahren und zu den unterschiedlichen Reinigungsmitteln enthalten (siehe **Bild 7.1**).

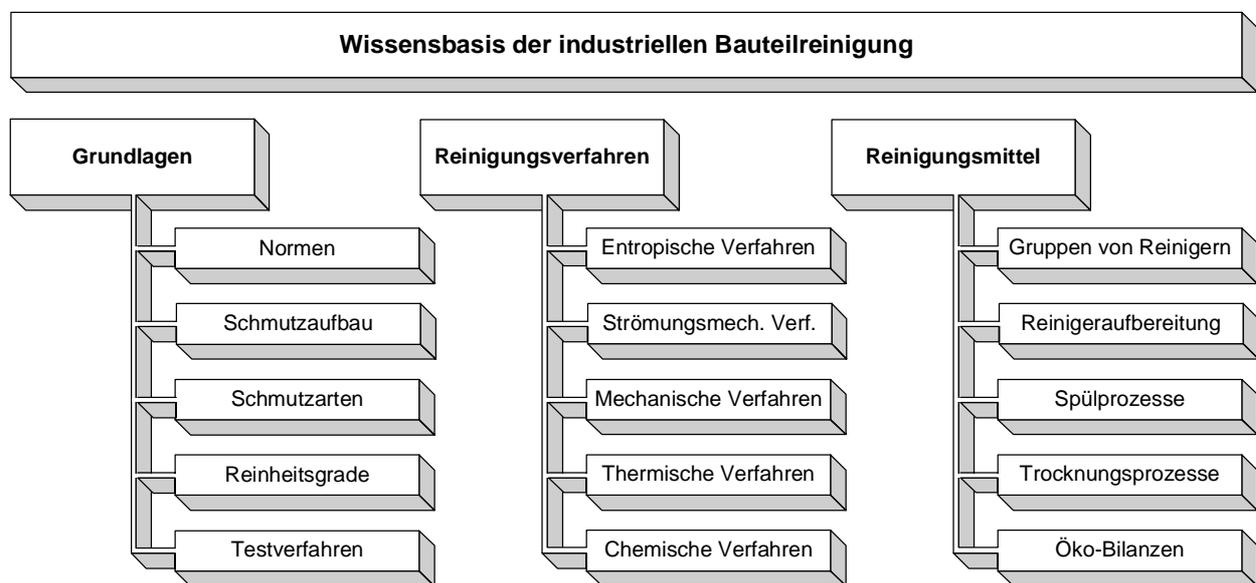


Bild 7.1 Übersicht über Gliederung und Inhalte der Wissensbasis

7.1 Informationsseiten zu den Grundlagen der Bauteilreinigung

Auf einer Übersichtsseite werden die wichtigsten in Deutschland gültigen Normen und Vorschriften für den Bereich der Bauteilreinigung zusammengestellt. Die tabellarische Darstellung gibt einen schnellen Überblick über den Stand der Normung und ermöglicht eine gezielte Bestellung einzelner Normen. Auf weiteren Seiten werden der grundsätzliche Aufbau von Schmutzschichten, die unterschiedlichen Bindungsmechanismen des Schmutzes auf der Bauteiloberfläche sowie mögliche Gruppeneinteilungen von Verschmutzungsarten beschrieben. Die Problematik der Definition von Reinheitsgraden sowie ein US-amerikanischer Ansatz hierzu werden dargestellt. Da die Definition eines Reinheitsgrades nur in Zusammenhang mit einem geeigneten Prüfverfahren sinnvoll ist, wird zudem eine Übersicht üblicher Test- und Analyseverfahren zur Ermittlung der Oberflächenreinheit erstellt. Von dieser tabellarischen Zusammenstellung ausgehend können Informationen bezüglich der Durchführung und der Einsatzgrenzen jedes einzelnen Prüfverfahrens abgerufen werden.

7.2 Informationsseiten zu den Reinigungsverfahren

Für jedes der in Kapitel 5 herausgearbeiteten Reinigungsverfahren wird in der Wissensbasis eine Übersichtsseite hinterlegt, die einen schnellen Überblick über das Verfahren gibt und von der zu weiteren Unterseiten verzweigt wird (Beispiel siehe **Bild 7.2**).



Bild 7.2 Übersichtsseite des Reinigungsverfahrens Laserstrahlreinigung

Von der Übersichtsseite ausgehend können tiefer gehende Informationen zu dem physikalischen Hintergrund, den Haupteinsatzgebieten, dem Umwelt- und Arbeitsschutz, den Anlagen und Kosten sowie eine Referenzliste und eine Herstellerübersicht auf jeweils einer separaten Informationsseite abgerufen werden. Diese Struktur ist bei allen Reinigungsverfahren gleich gehalten. Eine Ausnahme bilden Verfahren, welche bereits durch die Informationen auf der Übersichtsseite hinreichend genau beschrieben sind.

7.2.1 Informationsseite: Physikalischer Hintergrund

Das physikalische Wirkprinzip ist eine wichtige Grundlage für die Verwendungsmöglichkeiten und Einsatzgrenzen des jeweiligen Reinigungsverfahrens. Auf einer relativ kurz gehaltenen Informationsseite wird versucht, dem Anwender grundlegendes Verständnis der Wirkzusammenhänge zu vermitteln, ohne dabei zu sehr ins Detail zu gehen. Die Erläuterungen werden allgemeinverständlich verfasst und, wo dies sinnvoll erscheint, durch schematische Zeichnungen und Prinzipdarstellungen ergänzt. **Bild 7.3** zeigt beispielhaft die Informationsseite zum physikalischen Hintergrund der Laserstrahlreinigung.

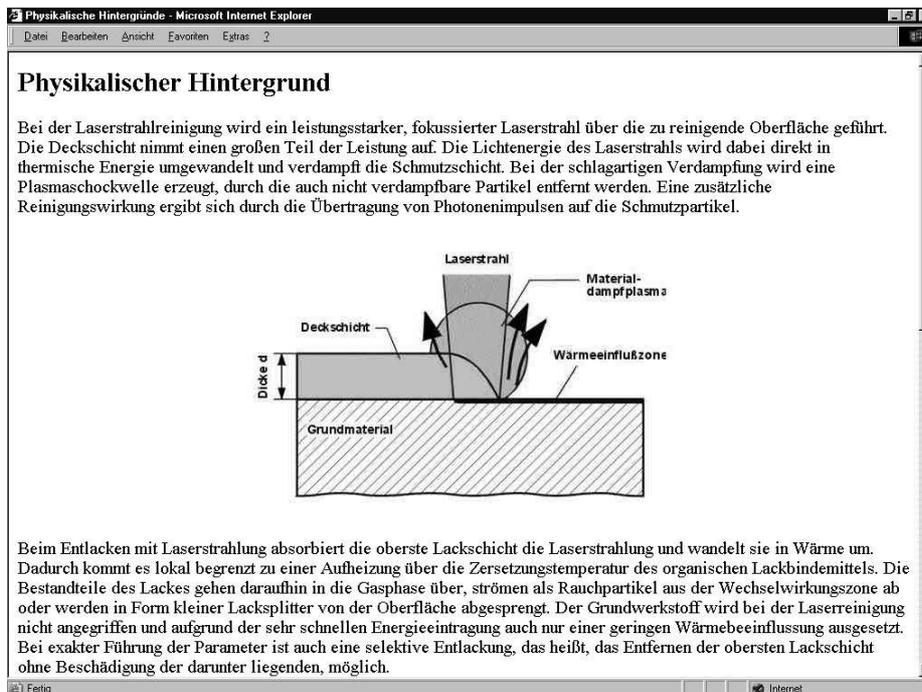


Bild 7.3 Informationsseite: Physikalischer Hintergrund der Laserstrahlreinigung

7.2.2 Informationsseite: Haupteinsatzgebiete

Bei der Beurteilung der Eignung eines Reinigungsverfahrens für eine gegebene Aufgabenstellung sind neben theoretisch begründbaren Kriterien auch in der Praxis gewonnene Erfahrungswerte von großem Nutzen. Die typischen Einsatzgebiete lassen oftmals bereits erkennen, ob ein Verfahren in Frage kommt oder nicht. In der Wissensbasis wird daher für jedes Reinigungsverfahren eine Beschreibung der Haupteinsatzgebiete hinterlegt, bei der die Einsatzgrenzen des Verfahrens deutlich erkennbar werden. Bild 7.4 zeigt dies beispielhaft für die Laserstrahlreinigung.



Bild 7.4 Informationsseite: Haupteinsatzgebiete der Laserstrahlreinigung

7.2.3 Informationsseite: Umwelt/Arbeitsschutz

Dem Umwelt- und Arbeitsschutz kommt im Bereich der industriellen Bauteilreinigung eine immer größere Bedeutung zu. Wenn aus technischer Sicht mehrere Reinigungsverfahren einsetzbar sind, ist in vielen Fällen die Umweltverträglichkeit oder ein geringes Gefährdungspotential für die Mitarbeiter das entscheidende Argument für die Verfahrenswahl. Die Wissensbasis liefert daher auch eine Übersicht über die mit dem betrachteten Reinigungsverfahren verbundenen Sicherheitsrisiken und Umweltaspekte. **Bild 7.5** zeigt dies beispielhaft.

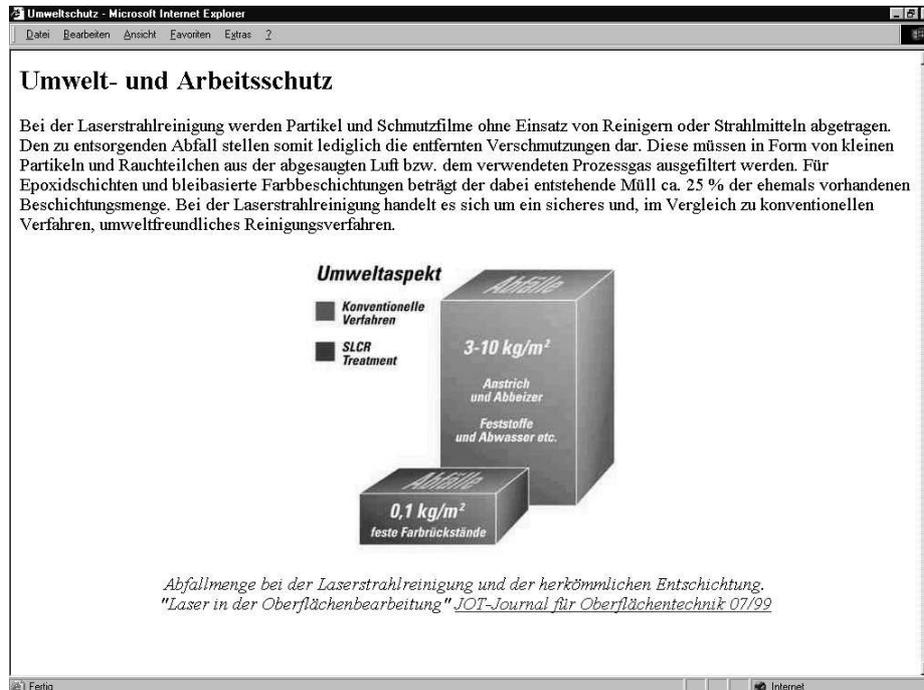


Bild 7.5 Informationsseite: Umwelt- und Arbeitsschutz bei der Laserstrahlreinigung

7.2.4 Informationsseite: Anlagen und Kosten

Bei der Gestaltung von Reinigungsprozessen muss neben der technischen Funktionalität auch die Kostenseite im Auge behalten werden. Als Hilfestellung bei der Anlagenplanung werden daher Informationen sowohl zu den Investitionskosten, als auch zu den Betriebskosten bei Anwendung des jeweiligen Reinigungsverfahrens in die Wissensbasis aufgenommen. Da die zu erwartenden Kosten in hohem Maße von den Handhabungs- und Zusatzeinrichtungen abhängen, werden typische Anlagenbauformen mit den dazugehörigen Einsatzgebieten vorgestellt, anhand derer sich der Anwender orientieren kann (Beispiel siehe **Bild 7.6**). Die Betrachtung der wichtigsten Kostenfaktoren hilft, den Kostenrahmen für den spezifischen Einsatzfall abzuschätzen.



Bild 7.6 Informationsseite: Anlagen und Kosten der Laserstrahlreinigung

7.2.5 Informationsseite: Referenzen

Bei der Gestaltung der Wissensbasis wird bewusst auf eine allgemeinverständliche, nicht zu sehr ins Detail gehende Darstellung geachtet. Der Anwender soll in die Lage versetzt werden, mit möglichst geringem Zeitaufwand die für die Lösung seines konkreten Reinigungsproblems relevanten Informationen zu erlangen. Ist eine tiefer gehende Analyse unumgänglich, bietet eine Referenzliste mit Literaturangaben und internetbasierten Quellen Ansatzpunkte für die Recherche.

Bild 7.7 zeigt beispielhaft die Referenzliste für das Verfahren Laserstrahlreinigung.

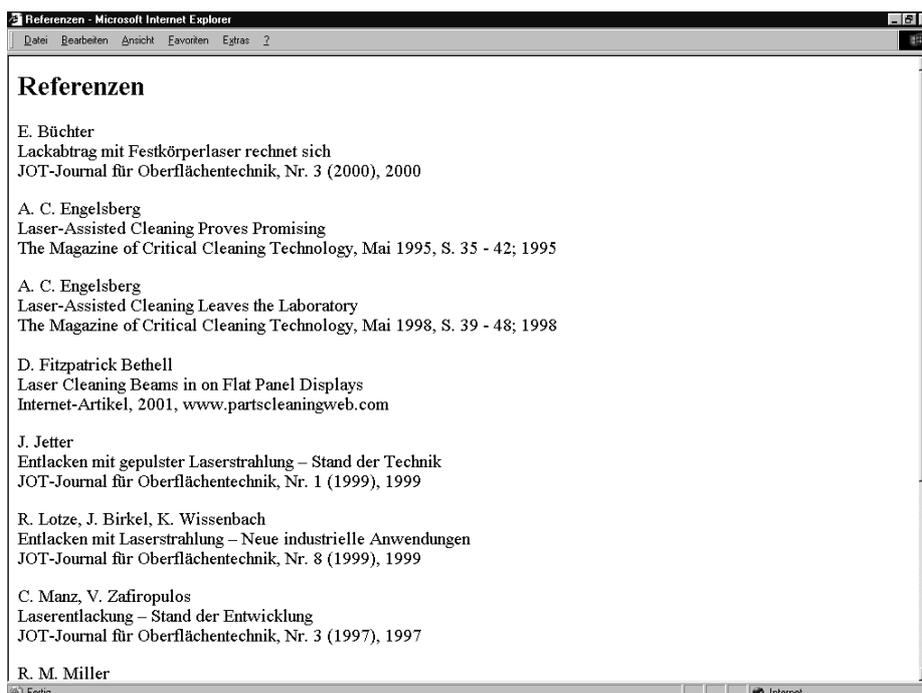


Bild 7.7 Informationsseite: Referenzen zur Laserstrahlreinigung

7.2.6 Informationsseite: Hersteller

Von der Übersichtsseite eines jeden Reinigungsverfahrens ausgehend kann direkt eine Suche nach geeigneten Anbietern gestartet werden. Dabei werden aus einer Datenbank alle Firmen ermittelt, die ihre Kompetenzen im Bereich des jeweiligen Verfahrens sehen (**Bild 7.8**).

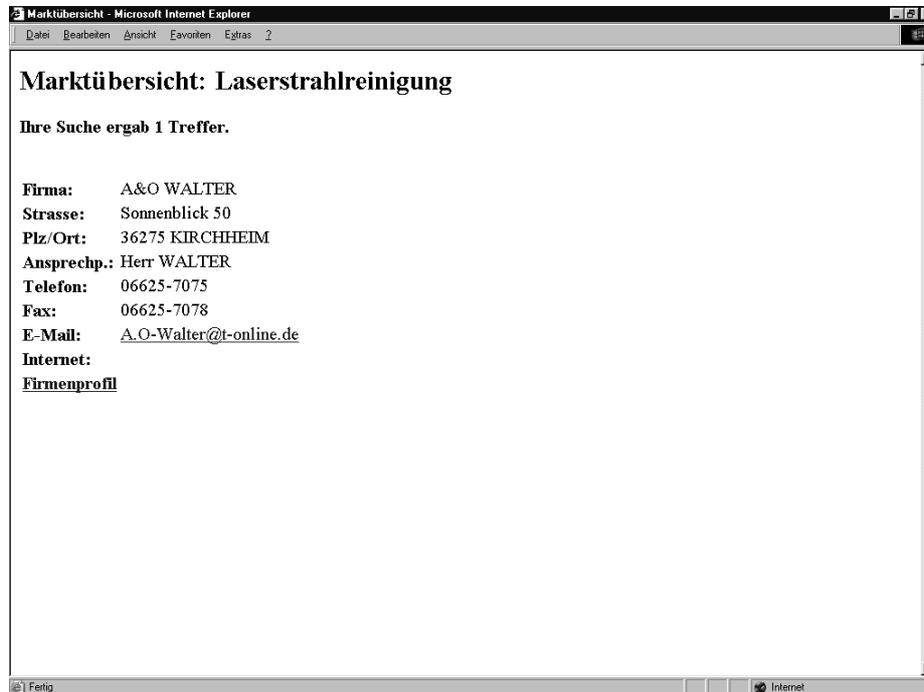


Bild 7.8 Informationsseite: Hersteller im Bereich der Laserstrahlreinigung

7.3 Informationsseiten zu den Reinigungsmitteln

Für jede der in Kapitel 5 definierten Gruppen wird eine Übersichtsseite erstellt (**Bild 7.9**).



Bild 7.9 Übersichtsseite der Reinigergruppe Neutralreiniger

Von dieser Übersichtsseite ausgehend kann, analog zu der Darstellung der Reinigungsverfahren, zu weiteren Unterseiten verzweigt werden. Auf diesen Unterseiten werden die Reinigergruppen ausführlich bezüglich ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften, ihrer Einsatzgebiete, dem Arbeitsschutz, den Aufbereitungs- und Entsorgungsmöglichkeiten sowie ihrer Toxizität und Umweltwirkung beschrieben.

Höchste Reinheitsgüten können mit entropischen Reinigungsverfahren nur dann erreicht werden, wenn eine Anreicherung von Schmutzstoffen in den Bädern durch eine effektive Aufbereitung verhindert wird. Die Badaufbereitung verringert zudem den Reinigerverbrauch und die entstehende Abwassermenge, welche beide erhebliche Kostenfaktoren darstellen. Als Hilfestellung für den Anlagenplaner enthält die Wissensbasis daher auch eine Übersicht über die Verfahren der Reini- geraufbereitung (siehe **Bild 7.10**). Die Einsatzgebiete und -grenzen der einzelnen Verfahren wer- den auf weiteren Informationsseiten ausführlich beschrieben.



Bild 7.10 Übersicht über die wichtigsten Verfahren der Reini- geraufbereitung

Darüber hinaus werden die derzeit geltenden gesetzlichen Vorschriften zur Verwendung, Aufbe- reitung und Entsorgung von Reinigungsmitteln zusammenfassend beschrieben und sind zusätzlich ungekürzt als downloadbare Dokumente hinterlegt. Für die wässrigen Reiniger sind insbesondere das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), die Abwasserverordnung (AbwV) und das Abwasserabga- bengesetz (AbwAG) von Bedeutung. Die wichtigsten Regelungen organische Lösemittel betref- fend enthalten das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), die Verordnung brennbarer Flüs- sigkeiten (VbF) und die Richtlinie 1999/13/EG der europäischen Union.

Die Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung und dem Institut für Technische Chemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena ein vom Bundesministerium für Bildung und For- schung gefördertes Forschungsprojekt zur ganzheitlichen Bilanzierung von Verfahren der indus- triellen Teilereinigung durchgeführt. Neben dem Vergleich der drei am häufigsten eingesetzten Verfahren – Reinigung mit CKW, nicht halogenierten KW nach VbF A3 und wässrigen Systemen - stand die ökologisch/ökonomische Schwachstellenanalyse der Einzelverfahren im Vordergrund. Die wesentlichen Ergebnisse des 1996 veröffentlichten Abschlussberichtes dieses Projektes /NN98a/ wurden mit freundlicher Genehmigung der beteiligten Forschungsstellen aufbereitet und in die Wissensbasis integriert.

7.4 Berechnungsverfahren und Auslegungshilfen

Für eine Feinbewertung unterschiedlicher Prinziplösungen sollten neben technischen auch wirtschaftliche Bewertungsfaktoren herangezogen werden (siehe Abschnitt 3.1.2.5). Um die Investitions- und Betriebskosten einer Anlagenvariante abschätzen zu können, ist zunächst eine Grobauslegung erforderlich, bei welcher wichtige Kostenfaktoren, wie die zu installierende Antriebsleistung, der Energieverbrauch oder der Frischwasserbedarf, festgelegt werden. Als Hilfe bei der Grobauslegung sollen, wo dies möglich ist, Berechnungsgrundlagen zu den unterschiedlichen Reinigungsprozessen in die Wissensbasis aufgenommen und in Form einfach zu handhabender Auslegungshilfen bereitgestellt werden.

In der Literatur finden sich bislang kaum Ansätze zur theoretischen Beschreibung von Reinigungsprozessen (siehe Kapitel 2.3 Stand der Technik). Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Arbeit Auslegungshilfen für diejenigen Prozesse erarbeitet, die einer Berechnung zugänglich gemacht werden können. In den folgenden Abschnitten werden beispielhaft Berechnungsgrundlagen für das Reinigen durch Schleudern, für mehrstufige Spülprozesse mit Spülwasserkaskade sowie für die Bauteiltrocknung durch Verdampfung vorgestellt.

7.4.1 Auslegungshilfe für das Reinigen durch Schleudern

Bei dem Schleudern werden als Schüttgut gehandhabte Kleinteile in eine Schleudertrommel gegeben, welche anschließend in Rotation versetzt wird. Flüssige Verunreinigungen werden durch Fliehkraft von den Bauteilen abgelöst und ausgetragen. Das Schleudern wird in der Regel zur Zwischenreinigung bei der spanenden Fertigung oder als Vorentölungsschritt zur Schonung nachfolgender Reinigungsbäder bei einer Endreinigung eingesetzt. Die ausgeschleuderten Bearbeitungsflüssigkeiten, wie Lappmittel, Kühlschmierstoffe oder Spanöle, können in der Regel nach einer Filterung wiederverwendet werden.

Bei der Grobauslegung einer Schleudieranlage ist zunächst die erforderliche Schleuderdrehzahl zu bestimmen. Hieraus ergeben sich die erforderliche Antriebsleistung und die auftretenden Kräfte, z. B. durch Unwuchten. In den folgenden Abschnitten werden Formeln für die erforderliche Drehzahl bei den drei wichtigsten Verfahrensvarianten des Schleuderns erarbeitet.

7.4.1.1 Erforderliche Schleuderdrehzahl: Trommel mit vertikaler Rotationsachse

Bei dieser Verfahrensvariante werden die zu reinigenden Bauteile in eine Lochblech- oder Siebtrommel mit vertikal stehender Drehachse gefüllt (vgl. **Bild 7.11**). In den Hohlräumen der Bauteilschüttung befindet sich eine größere Menge Flüssigkeit, welche entfernt werden soll. Die Flüssigkeit haftet aufgrund von Adhäsion an den Bauteilen an und wird zum Teil durch Kapillarkräfte in der Schüttung gehalten. Des Weiteren ist aufgrund von Viskosität und Oberflächenspannung ein Mindestdruck erforderlich, um die Flüssigkeit durch die Siebtrommel zu drücken. Diese Widerstände müssen durch Fliehkräfte überwunden werden. Die Schleudertrommel dreht nach dem Anlaufvorgang mit konstanter Drehzahl. Die auf ein Bauteil wirkende Fliehkraft beträgt:

$$F_F = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (7.1)$$

mit: F_F = Fliehkraft

m = Masse des Bauteils

ω = Winkelgeschwindigkeit der Trommel

r = Abstand des Bauteilschwerpunktes von der Rotationsachse

Die Bauteile stützen sich untereinander und gegen die Trommelwand ab. Sie verlassen ihre relative Position zueinander im Idealfall nicht. Sollen sehr hohe Drehzahlen realisiert werden, kann ein unkontrolliertes Herumschleudern der Bauteile durch ein vollständiges Befüllen der Trommel und das Aufsetzen eines Deckels verhindert werden. In der zwischen den Bauteilen befindlichen Flüssigkeit mit der Dichte ρ baut sich aufgrund der Fliehkraft folgender Schleuderdruck auf:

$$p_S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r^2 \quad (7.2)$$

Der Schleuderdruck p_S steigt quadratisch mit dem Abstand r von der Drehachse an (**Bild 7.11**).

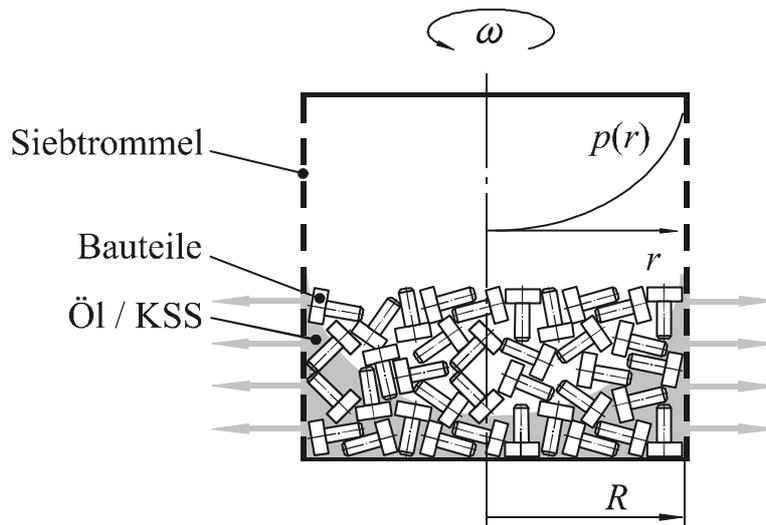


Bild 7.11 Schleudertrommel mit vertikaler Rotationsachse

Bereits bei geringer Drehzahl reicht der Druck aus, um die zwischen den Bauteilen vorliegende ungebundene Flüssigkeit durch die Öffnungen in der Trommelwand zu drücken. Wird als grober Anhaltswert zur Überwindung des Widerstandes durch Oberflächenspannung sowie der Dissipation ein Mindestdruck von 10 kPa angenommen, ergibt sich eine Schleuderdrehzahl von:

$$n_{S,U} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \sqrt{\frac{20 \text{ kPa}}{\rho}} \quad (7.3)$$

Soll beispielsweise Öl mit einer spezifischen Dichte von $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ in einer Schleudertrommel mit einem Innenradius von $R = 0,5 \text{ m}$ ausgeschleudert werden, ist eine Schleuderdrehzahl von 90 Umdrehungen pro Minute erforderlich.

Auf den Bauteilen verbleibt nach dem Ausschleudern der ungebundenen Flüssigkeit jedoch adhäsiv gebundene Flüssigkeit in Form einzelner Tropfen oder einer gleichmäßigen Oberflächenbenetzung. Soll auch diese Haftflüssigkeit entfernt werden, ist meist eine höhere Schleuderdrehzahl erforderlich. Zur Überwindung der Oberflächenhaftung muss die auf einen Tropfen mit der Masse m_T wirkende Fliehkraft $F_{F,T}$ die Adhäsionskraft zwischen Tropfen und Bauteiloberfläche $F_{Ad,T}$ übersteigen.

$$F_{F,T} = m_T \cdot \omega^2 \cdot r > F_{Ad,T} \quad (7.4)$$

Die Fliehkraft ist in der unmittelbaren Nähe der Rotationsachse gleich Null und steigt mit dem Radius quadratisch an. Sie übersteigt die Adhäsionskraft bei dem Grenzradius r_G . Ein Abschleudern von Haftflüssigkeit ist nur außerhalb dieses Radius möglich. Der Zusammenhang zwischen Grenzradius und Winkelgeschwindigkeit lässt sich formelmäßig folgendermaßen ausdrücken:

$$\omega = \sqrt{\frac{F_{\text{Ad,T}}}{m_{\text{T}}} \cdot \frac{1}{r_{\text{G}}}} \quad (7.5)$$

Wird das Schüttgutvolumen außerhalb des Grenzradius ins Verhältnis zu dem Gesamtschüttgutvolumen gesetzt, kann der relative Anteil des gereinigten Schüttvolumens X bestimmt werden:

$$X = 1 - \frac{r_{\text{G}}^2}{R^2} \quad (7.6)$$

Mit den Gleichungen (7.5) und (7.6) kann die erforderliche Schleuderdrehzahl zur Entfernung von Haftflüssigkeit ermittelt werden:

$$n_{\text{S,H}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{F_{\text{Ad,T}}}{m_{\text{T}}} \cdot \frac{1}{R \cdot \sqrt{1 - X}}} \quad (7.7)$$

Als Handlungshilfe für den Konstrukteur können folgende Aussagen festgehalten werden:

- Ungebundene Flüssigkeit kann relativ leicht ausgeschleudert werden. Einen Anhaltswert für die hierbei erforderliche Schleuderdrehzahl liefert Gleichung (7.3).
- Zur Entfernung von Haftflüssigkeit sind zumeist höhere Drehzahlen erforderlich. Eine Berechnung gemäß Gleichung (7.7) ist erst nach Vorversuchen zur Bestimmung der massenbezogenen Adhäsionskraft zwischen den Flüssigkeitstropfen und der Bauteiloberfläche möglich.
- In einem zylindrischen Bereich um die Drehachse kann generell keine Haftflüssigkeit entfernt werden. Mit steigender Drehzahl verringert sich der Anteil des ungereinigten Schüttvolumens.
- Die Bauteile führen keine Relativbewegungen untereinander oder gegenüber der Trommelwand aus. Somit ist eine oberflächenschonende Reinigung möglich.

7.4.1.2 Erforderliche Schleuderdrehzahl: Trommel mit horizontaler Rotationsachse

Bei der zweiten Verfahrensvariante wird die Rotationsachse der Lochblech- oder Siebtrommel während des Schleuderns horizontal gestellt. Nach einer Anlaufphase, in der die Bauteile unkontrolliert umher geworfen werden, legen sie sich an die Trommelwand an, und es findet keine weitere Relativbewegung mehr statt (siehe **Bild 7.12**).

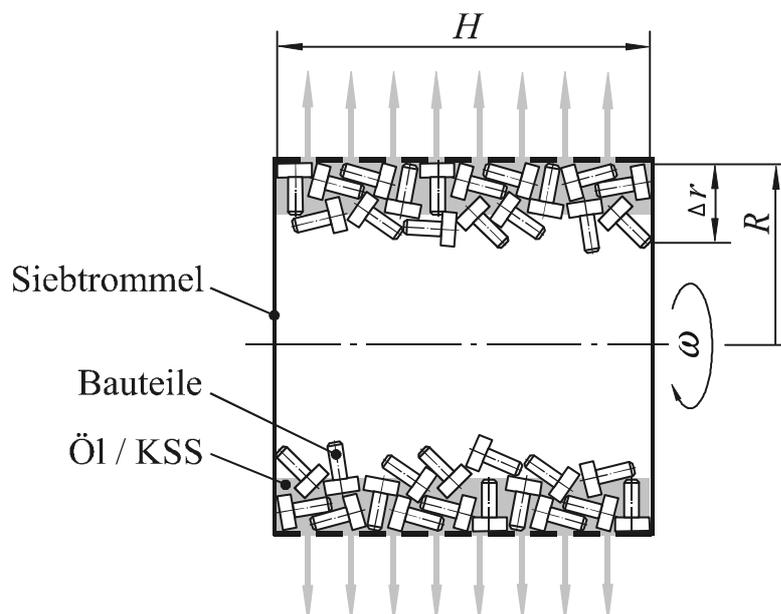


Bild 7.12 Schleudertrommel mit horizontaler Rotationsachse

Um die Bauteile entgegen der Schwerkraft (Erdbeschleunigung g) an der Trommelwand zu halten, muss eine Mindestdrehzahl erreicht werden. Diese ergibt sich (unter Vernachlässigung von Adhäsionskräften) aus dem Kräftegleichgewicht der auf das Bauteil wirkenden Flieh- und Gewichtskräfte:

$$\omega^2 \cdot (R - \Delta r) = g \quad (7.8)$$

Die Höhe der Belegung der Wand mit Bauteilen Δr hängt von dem Radius R und der Höhe H der Schleudertrommel sowie dem zu reinigenden Chargenvolumen V_C ab:

$$\Delta r = R - \sqrt{R^2 - \frac{V_C}{\pi \cdot H}} \quad (7.9)$$

Die Mindestdrehzahl bei dieser Verfahrensvariante ergibt sich damit zu:

$$n_{\min} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R^2 - \frac{V_C}{\pi \cdot H}}} \quad (7.10)$$

Der Schleuderdruck, der sich in einem Flüssigkeitsring mit dem Außenradius R_a und dem Innenradius R_i ausbildet, beträgt allgemein:

$$p_S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (R_a^2 - R_i^2) \quad (7.11)$$

Beim Schleudern entspricht der Außenradius des Flüssigkeitsring dem Innenradius R der Trommel. Der Innenradius des Flüssigkeitsrings kann, unter der Voraussetzung, dass das gesamte Hohlräumvolumen der Bauteilschüttung mit Flüssigkeit gefüllt ist, durch das Chargenvolumen V_C ausgedrückt werden. Der Schleuderdruck in der Flüssigkeit p_S beträgt damit:

$$p_S = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{V_C}{\pi \cdot H} \quad (7.12)$$

Beim Trommelumlauf schwankt dieser mittlere Druck aufgrund der immer gleich gerichteten Schwerkraft um den Betrag:

$$p_G = \rho \cdot g \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - \frac{V_C}{\pi \cdot H}} \right) \quad (7.13)$$

Um ein Ausschleudern auf dem gesamten Umfang der Trommel zu ermöglichen, muss der Schleuderdruck größer sein als der Schwerkraftdruck zuzüglich des zum Ausschleudern der Flüssigkeit erforderlichen Druckes (Anhaltswert: 10 kPa):

$$p_{S,\text{erf}} > p_G + 10 \text{ kPa} \quad (7.14)$$

Die erforderliche Drehzahl zum Ausschleudern ungebundener Flüssigkeit ergibt sich damit zu:

$$n_{S,U} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot H}{\rho \cdot V_C} \cdot \left(\rho \cdot g \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - \frac{V_C}{\pi \cdot H}} \right) + 10 \text{ kPa} \right)} \quad (7.15)$$

Soll auch Haftflüssigkeit von den Bauteiloberflächen entfernt werden, muss die Drehzahl so weit steigen, dass die auf einen Flüssigkeitstropfen wirkende Fliehkraft $F_{F,T}$ die Summe aus Adhäsionskraft $F_{Ad,T}$ und Schwerkraft $F_{G,T}$ übertrifft.

$$F_{F,T} > F_{Ad,T} + F_{G,T} \quad (7.16)$$

Damit ergibt sich die erforderliche Mindestdrehzahl zur Entfernung von Haftflüssigkeit $n_{S,H}$ zu:

$$n_{S,H} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\frac{F_{Ad,T}}{m_T} + g}{R^2 - \frac{V_C}{\pi \cdot H}}} \quad (7.17)$$

Für die Auslegung einer Schleudranlage mit horizontaler Drehachse gelten folgende Regeln:

- Das Trommelvolumen sollte groß gegenüber dem zu reinigenden Chargenvolumen gehalten werden (Anhaltswert: $> 3:1$). Dann können alle Bauteile den nahen Bereich um die Drehachse verlassen, und es wird eine gleichmäßige Reinigung der gesamten Schüttung möglich.
- Empfindliche Bauteile können durch die unkontrollierte Bewegung in der Anlaufphase beschädigt werden. Die Teile werden zunächst geworfen und legen sich erst bei der Mindestdrehzahl entsprechend Gleichung (7.10) an die Außenwände an.
- Das Ausschleudern ungebundener Flüssigkeit beginnt, sobald die erforderliche Drehzahl nach Gleichung (7.15) überschritten wird.
- Gleichung (7.17) kann zur Berechnung der Mindestdrehzahl für das Ausschleudern von Haftflüssigkeit herangezogen werden. Dazu sind jedoch zunächst Vorversuche zur Bestimmung der massenbezogenen Adhäsionskraft erforderlich.

7.4.1.3 Erforderliche Schleuderdrehzahl: Konische Trommel mit vertikaler Rotationsachse

Wird eine Schleudertrommel mit senkrecht stehender Drehachse konisch ausgeführt (**Bild 7.13**), kann ein Ausschleudern von Flüssigkeit auch bei undurchlässigen Trommelwänden erfolgen. Die Konizität der Trommel muss bei dieser Anordnung so gewählt werden, dass einerseits die Flüssigkeit entgegen der Schwerkraft aus der Trommel getrieben werden kann, aber andererseits die Bauteile nicht herausgeschleudert werden.

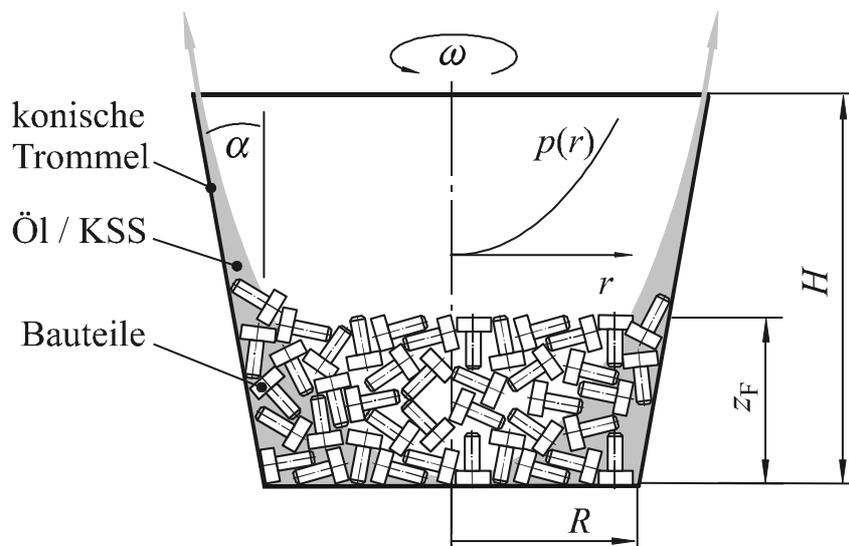


Bild 7.13 Konische Schleudertrommel

Damit die ungebundene Flüssigkeit vollständig entfernt werden kann, muss eine Mindestdrehzahl erreicht werden. Diese Mindestdrehzahl ergibt sich durch eine Kräftebilanz an einem Flüssigkeitstropfen, welcher sich auf der konischen Trommelwand befindet (siehe **Bild 7.14**).

Die tangentielle Fliehkraftkomponente $F_{F,t}$ hebt im Gleichgewichtsfall die tangentielle Schwerkraftkomponente $F_{G,t}$ auf. Adhäsionskräfte können bei ungebundener Flüssigkeit definitionsgemäß vernachlässigt werden. Für diesen Gleichgewichtsfall (gerade noch kein Ausschleudern) ergibt sich:

$$\omega^2 \cdot R \cdot \sin \alpha = g \cdot \cos \alpha \quad (7.18)$$

Die erforderliche Drehzahl beträgt damit:

$$n_{S,U} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{R \cdot \tan \alpha}} \quad (7.19)$$

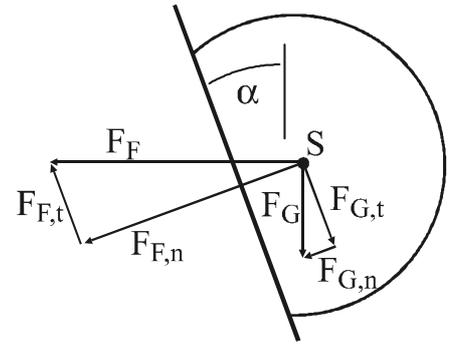


Bild 7.14 Kräftebilanz am Tropfen

Für das Ausschleudern von Haftflüssigkeit muss meist eine höhere Drehzahl gewählt werden. Die Fliehkraft ist in der unmittelbaren Nähe der Rotationsachse gleich Null und übersteigt die Adhäsionskraft erst bei dem Grenzradius r_G . Der relative Anteil gereinigten Schüttvolumens X ergibt sich aus dem Verhältnis des Volumens außerhalb des Grenzradius zum Gesamtvolumen:

$$X = 1 - \frac{\pi \cdot z_F}{V_C} \cdot r_G^2 \quad (7.20)$$

In dieser Gleichung ist die Füllhöhe der Trommel z_F zunächst noch unbekannt. Sie kann durch die Trommelabmessungen und das zu reinigende Chargenvolumen ausgedrückt werden. Die Bauteilschüttung nimmt in der konischen Trommel die Form eines Kegelstumpfes an. Die allgemeine Formel für das Volumen eines Kegelstumpfes lautet:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2) \quad (7.21)$$

mit: V = Volumen des Kegelstumpfes
 h = Höhe des Kegelstumpfes
 r_1 = Oberer Radius des Kegelstumpfes
 r_2 = Unterer Radius des Kegelstumpfes

Mit $h = z_F$, $r_1 = R$ und $r_2 = R + z_F \cdot \tan \alpha$ ergibt sich das Chargenvolumen zu:

$$V_C = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot z_F \cdot (3 \cdot R^2 + 3 \cdot \tan \alpha \cdot z_F \cdot R + (\tan \alpha)^2 \cdot z_F^2) \quad (7.22)$$

Das Umstellen der Gleichung (7.22) nach der Füllhöhe z_F liefert eine kubische Gleichung:

$$z_F^3 \cdot \left(\frac{\pi}{3} \cdot (\tan \alpha)^2 \right) + z_F^2 \cdot (\pi \cdot R \cdot \tan \alpha) + z_F \cdot (\pi \cdot R^2) - V_C = 0 \quad (7.23)$$

Diese kubische Gleichung besitzt eine reelle und zwei konjugiert komplexe Lösungen. Gesucht ist die reelle Lösung, da nur diese von physikalischer Relevanz ist. Sie lautet:

$$z_F = \frac{1}{\tan \alpha} \cdot \left(\sqrt[3]{R^3 + \frac{3}{\pi} \cdot V_C \cdot \tan \alpha - R} \right) \quad (7.24)$$

Umstellen der Gleichung (7.20) nach dem Grenzradius r_G liefert:

$$r_G = \sqrt{\frac{V_C}{\pi \cdot z_F} \cdot (1 - X)} \quad (7.25)$$

Die Winkelgeschwindigkeit, die für das Ausschleudern von Haftflüssigkeit erforderlich ist, ergibt sich durch Einsetzen der Gleichungen (7.24) und (7.25) in Gleichung (7.5). Für die erforderliche Schleuderdrehzahl zum Entfernen von Haftflüssigkeit gilt damit:

$$n_{S,H} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\frac{F_{Ad,T}}{m_T}}{V_C \cdot \tan \alpha \cdot (1 - X)}} \cdot \sqrt{\pi \cdot \left(\sqrt[3]{R^3 + \frac{3}{\pi} \cdot V_C \cdot \tan \alpha} - R \right)} \quad (7.26)$$

Eine Drehzahlberechnung nach dieser Formel setzt die experimentelle Ermittlung der massenbezogenen Adhäsionskraft zwischen den Flüssigkeitströpfchen und der Bauteiloberfläche voraus.

Bei der Wahl der Konizität der Trommel ist zu beachten, dass ein größerer Winkel das Entfernen der Flüssigkeit erleichtert, jedoch ein gewisses Maß nicht überschritten werden darf, damit die Bauteile noch durch Selbsthemmung in der Trommel gehalten werden. Im Folgenden wird eine Obergrenze für den Konuswinkel hergeleitet. Das Kräftegleichgewicht gemäß **Bild 7.15** liefert:

$$\sum F_t = F_{F,t} - F_{G,t} - F_R = 0 \quad (7.27)$$

mit: F_t = Tangentialkraft
 $F_{F,t}$ = Tangentialkomponente der Fliehkraft
 $F_{G,t}$ = Tangentialkomponente der Gewichtskraft
 F_R = Reibkraft

Die Reibung an der Trommelwand beträgt im Grenzfall:

$$F_{R,max} = \mu \cdot (F_{F,n} + F_{G,n}) \quad (7.28)$$

mit: $F_{R,max}$ = Maximale Reibkraft im Grenzfall
 μ = Reibbeiwert
 $F_{F,n}$ = Normalkomponente der Fliehkraft
 $F_{G,n}$ = Normalkomponente der Gewichtskraft

Damit Selbsthemmung besteht, muss gelten:

$$F_R = F_{F,t} - F_{G,t} < F_{R,max} \quad (7.29)$$

Mit Gleichung (7.28) und den Winkelbeziehungen ergibt sich daraus:

$$\tan \alpha < \frac{F_G + \mu \cdot F_F}{F_F - \mu \cdot F_G} \quad (7.30)$$

Einsetzen der Gewichtskraft F_G sowie der Fliehkraft F_F entsprechend Gleichung (7.1) liefert:

$$\tan \alpha < \frac{g + \mu \cdot \omega^2 \cdot r}{\omega^2 \cdot r - \mu \cdot g} \quad (7.31)$$

Der Abstand r des Bauteilschwerpunktes von der Drehachse der Schleudertrommel wird maximal, wenn das Bauteil sich am oberen Rand der Trommelwand befindet (obere Abschätzung).

$$r_{max} = R + \tan \alpha \cdot H \quad (7.32)$$

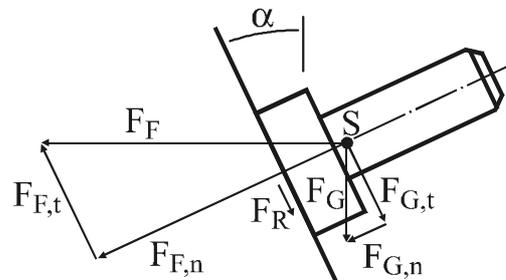


Bild 7.15 Kräftegleichgewicht am Bauteil

Einsetzen in Gleichung (7.31) liefert eine Bedingung für Selbsthemmung:

$$\frac{g + \mu \cdot \omega^2 \cdot (R + \tan \alpha \cdot H)}{\omega^2 \cdot (R + \tan \alpha \cdot H) - \mu \cdot g} - \tan \alpha > 0 \quad (7.33)$$

Für das Schleudern in einer konischen Trommel gelten folgende Leitregeln:

- Ein großer Konuswinkel erleichtert das Ausschleudern ungebundener Flüssigkeit. Er darf einen bestimmten Wert jedoch nicht überschreiten, da sonst keine Selbsthemmung mehr besteht und die Bauteile aus der Trommel geschleudert werden.
- Da der zulässige Konuswinkel und die Drehzahl wechselseitig voneinander abhängen, ist bei der Grobauslegung folgendes iteratives Vorgehen ratsam: Zunächst wird ein Konuswinkel gewählt (Anhaltswert 5° bis 15°). Damit kann die erforderliche Schleuderdrehzahl entsprechend den Gleichungen (7.19) bzw. (7.26) bestimmt werden. Anschließend muss mit der nun festliegenden Drehzahl die Selbsthemmung entsprechend der Bedingung (7.33) nachgewiesen werden. Gegebenenfalls muss der Konuswinkel korrigiert werden.
- Der Hauptvorteil dieser Verfahrensvariante ist, dass die Trommelwand nicht perforiert werden muss, was konstruktiv einfacher ist und das Entleeren der Trommel erleichtert, wenn die zu reinigenden Bauteile dazu neigen, in Sieben zu verhaken (z. B. Drahtbiegeteile).
- Die Bauteile werden nicht in der Trommel umher geworfen. Somit ist eine oberflächenschonende Reinigung möglich.
- Ebenso wie bei der in Abschnitt 7.4.1.1 beschriebenen Variante kann jedoch in einem um die Drehachse gelegenen zylindrischen Bereich keine Haftflüssigkeit entfernt werden. Je höher die Drehzahl gewählt wird, desto kleiner wird dieser Bereich.

7.4.1.4 Abschätzung von Antriebsmoment und Antriebsleistung

Mit den in den vorhergehenden Abschnitten gegebenen Formeln kann die erforderliche Schleuderdrehzahl für die unterschiedlichen Verfahrensvarianten ermittelt werden. Die vorzusehende Antriebsleistung P_{An} beträgt dann:

$$P_{\text{An}} = 2 \cdot \pi \cdot n_S \cdot M_{\text{An}} \quad (7.34)$$

Das erforderliche Antriebsmoment M_{An} setzt sich zusammen aus dem Beschleunigungsmoment M_{B} und dem Verlustmoment durch Reibung an der Umgebungsluft und im Antriebsstrang M_{V} :

$$M_{\text{An}} = M_{\text{B}} + M_{\text{V}} \quad (7.35)$$

Das Beschleunigungsmoment ergibt sich bei konstanter Beschleunigung während der Zeit t zu:

$$M_{\text{B}} = J_{\text{ges}} \cdot \frac{\omega}{t} \quad (7.36)$$

Zunächst muss das Trägheitsmoment der Schleudertrommel abgeschätzt werden. Das Gesamtträgheitsmoment setzt sich aus vier Anteilen zusammen:

$$J_{\text{ges}} = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 \quad (7.37)$$

- mit:
- J_{ges} = Gesamtträgheitsmoment
 - J_1 = Trägheitsmoment des Trommelmantels
 - J_2 = Trägheitsmoment des Trommelbodens
 - J_3 = Trägheitsmoment der Bauteilschüttung
 - J_4 = Trägheitsmoment des Antriebsstrangs

Der Trommelmantel kann bei zylindrischen Trommeln als dünnwandiger Hohlzylinder genähert werden. Das Trägheitsmoment beträgt dann:

$$J_{1,Z} = m_M \cdot \left(R + \frac{s_1}{2} \right)^2 \quad (7.38)$$

Mit der Masse des Trommelmantels $m_M = \rho_W \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(R + \frac{s_1}{2} \right) \cdot s_1 \cdot H$ ergibt sich:

$$J_{1,Z} = 2 \cdot \pi \cdot \rho_W \cdot s_1 \cdot H \cdot \left(R + \frac{s_1}{2} \right)^3 \quad (7.39)$$

mit: $J_{1,Z}$ = Trägheitsmoment eines zylindrischen Trommelmantels

ρ_W = Dichte des Trommelwerkstoffs

H = Trommelhöhe

R = Trommelinnenradius

s_1 = Wandstärke des Trommelmantels

Das Trägheitsmoment des Mantels einer konischen Schleudertrommel kann als dünnwandiger Hohlkegelstumpf angenähert werden. Wird in Gleichung (7.38) der Radius R um den mit der Höhe veränderlichen Anteil $R = R + \tan \alpha \cdot h$ ergänzt und die Masse eines Kreisrings mit infinitesimal kleiner Höhe $dm = \rho_W \cdot 2 \cdot \pi \cdot (R + \tan \alpha \cdot h) \cdot s_1 \cdot dh$ eingesetzt, ergibt sich das Trägheitsmoment aus folgendem Integral:

$$J_{1,K} = \int_0^H 2 \cdot \pi \cdot \rho_W \cdot s_1 \cdot \left(R + \frac{s_1}{2} + \tan \alpha \cdot h \right)^3 \cdot dh \quad (7.40)$$

Das Trägheitsmoment der konischen Trommelwand ergibt sich damit zu:

$$J_{1,K} = \frac{\pi \cdot \rho_W \cdot s_1}{2 \cdot \tan \alpha} \cdot \left(\left(R + \frac{s_1}{2} + \tan \alpha \cdot H \right)^4 - \left(R + \frac{s_1}{2} \right)^4 \right) \quad (7.41)$$

Der Trommelboden kann bei allen drei Verfahrensvarianten als Kreisscheibe mit dem Außenradius $(R + s_1)$ und der Dicke s_2 genähert werden. Dessen Trägheitsmoment beträgt:

$$J_2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R + s_1)^2 \quad (7.42)$$

Mit $m = \pi \cdot (R + s_1)^2 \cdot s_2 \cdot \rho_W$ ergibt sich:

$$J_2 = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot s_2 \cdot \rho_W \cdot (R + s_1)^4 \quad (7.43)$$

Die Bauteilcharge mit der Masse m_C nimmt beim Schleudern in einer zylindrischen Trommel mit vertikaler Rotationsachse die Form eines Vollzylinders mit dem Außenradius R an. Das Trägheitsmoment ergibt sich damit zu:

$$J_{3,V} = \frac{1}{2} \cdot m_C \cdot R^2 \quad (7.44)$$

Beim Schleudern mit horizontaler Drehachse nimmt die Bauteilschüttung die Form eines Hohlzylinders mit dem Außenradius R und der Wandstärke Δr an. Das Trägheitsmoment beträgt:

$$J_{3,H} = \frac{1}{2} \cdot m_C \cdot \left(R^2 + (R - \Delta r)^2 \right) \quad (7.45)$$

Einsetzen von Gleichung (7.9) liefert:

$$J_{3,H} = \frac{1}{2} \cdot m_C \cdot \left(2 \cdot R^2 - \frac{V_C}{\pi \cdot H} \right) \quad (7.46)$$

In einer konischen Schleudertrommel nimmt die Bauteilschüttung die Form eines Kegelstumpfes an. Das Trägheitsmoment eines Kegelstumpfes beträgt allgemein:

$$J = \frac{3}{10} \cdot m \cdot \frac{r_2^5 - r_1^5}{r_2^3 - r_1^3} \quad (7.47)$$

mit: J = Trägheitsmoment eines Kegelstumpfes
 m = Masse des Kegelstumpfes
 r_1 = Kleinster Radius des Kegelstumpfes
 r_2 = Größter Radius des Kegelstumpfes

Bei einer konischen Schleudertrommel gilt $r_1 = R$, $r_2 = R + z_F \cdot \tan \alpha$ und $m = m_C$:

$$J_{3,K} = \frac{3}{10} \cdot m_C \cdot \frac{\left(R + z_F \cdot \tan \alpha \right)^5 - R^5}{\left(R + z_F \cdot \tan \alpha \right)^3 - R^3} \quad (7.48)$$

Die Füllhöhe der Trommel z_F kann entsprechend Gleichung (7.24) ausgedrückt werden. Damit ergibt sich für das Trägheitsmoment der Bauteilschüttung in einer konischen Trommel:

$$J_{3,K} = \frac{\pi}{10} \cdot \frac{m_C}{V_C} \cdot \frac{\left(R^3 + \frac{3}{\pi} \cdot V_C \cdot \tan \alpha \right)^{\frac{5}{3}} - R^5}{\tan \alpha} \quad (7.49)$$

Das Trägheitsmoment des Antriebsstrangs J_4 ist bei nicht zu starker Untersetzung klein im Vergleich zu den drei vorgenannten Anteilen. Es kann bei der Grobauslegung vernachlässigt werden.

In der Praxis wird die Beschleunigungszeit t meist relativ kurz gewählt, damit wirtschaftliche Reinigungszeiten eingehalten werden können. Hieraus resultiert ein hohes Beschleunigungsmoment. Die Verluste durch Reibung sind dagegen bei nicht zu hohen Umfangsgeschwindigkeiten zu vernachlässigen. Damit ergibt sich für die Antriebsleistung folgende Auslegungsformel:

$$P_{An} = 4 \cdot \pi^2 \cdot n_S^2 \cdot \frac{J_{ges}}{t} \quad (7.50)$$

Die vorstehende Gleichung liefert eine untere Abschätzung der erforderlichen Antriebsleistung.

Die entwickelten Formeln und Leitregeln können dem Konstrukteur als Hilfestellung bei der Grobauslegung einer Schleuderreinigungsanlage dienen. Eine derartige Betrachtung ist nicht bei allen Reinigungsverfahren möglich, da gerade der Mechanismus der Schmutzablösung meist nicht theoretisch beschrieben werden kann.

7.4.2 Auslegungshilfe für mehrstufige Spülprozesse mit Spülwasserkaskade

An eine Nassreinigung schließen sich in den meisten Fällen Spülprozesse an. Das Ziel dabei ist der Abtransport von angelösten Verunreinigungen und aktiven Badbestandteilen von den gereinigten Bauteiloberflächen. Dem Spülen kommt im Hinblick auf die erreichbare Oberflächenreinheit eine der Reinigung fast ebenbürtige Bedeutung zu. Insbesondere in Produktionsbereichen mit sehr hohen Anforderungen an die Oberflächenreinheit, wie z. B. der Galvanik, müssen Spülprozesse sehr sorgfältig ausgelegt werden, um auf der einen Seite die Qualität sicherzustellen und auf der anderen Seite die Kosten für Frisch- und Abwässer zu minimieren.

In der Wissensbasis sind als Hilfestellung für den Anlagenplaner ausführliche Informationen zu den Hintergründen und Verfahren des Spülens hinterlegt. Zudem werden interaktive Berechnungshilfsmittel programmiert, mit denen eine Grobauslegung von Spülprozessen möglich ist.

Im Folgenden wird beispielhaft eine Auslegungshilfe für mehrstufige wässrige Spülprozesse mit Spülwasserkaskade vorgestellt. Bei der Kaskadenführung wird lediglich die letzte Spülstufe mit Frischwasser versorgt, alle anderen Stufen werden, zum Beispiel durch einen Überlauf, mit dem Abwasser der jeweils nachfolgenden Stufe gespeist. Hierdurch wird der Frischwasserbedarf deutlich verringert.

Um einen Spülprozess zu charakterisieren, kann ein dimensionsloses Spülkriterium eingeführt werden. Das Spülkriterium S ist nach *L. Winkler /win94/* definiert als der Quotient der Wirkstoffkonzentration im Reinigungsbad c_0 und der zu erreichenden Endkonzentration c_n :

$$S = \frac{c_0}{c_n} \quad (7.51)$$

Das Spülkriterium stellt ein Maß für die Verdünnung der gelösten Verunreinigungen bzw. der Aktivstoffe des Reinigungsades dar. Je höher das erreichte Spülkriterium ist, um so weniger Fremdstoffe verbleiben nach der Trocknung auf den Bauteiloberflächen. Eine tabellarische Übersicht typischer Werte für das zu fordernde Spülkriterium zeigt **Bild 7.16**.

Nachfolgender Prozess	Spülkriterium
Abkochentfetten	35 - 100
Elektrolytische Entfettung	100 - 200
Dekapieren, Beizen	100 - 500
Verkupfern, Verzinken, Verzinnen	1.000 - 3.000
Brünieren, Phosphatieren, Chromatieren	3.000 - 5.000
Vernickeln	3.000 - 5.000
Verchromen	10.000 - 100.000
Elektrolytisch Beizen und Polieren	100.000 - 1.000.000

Bild 7.16 Tabellarische Übersicht typischer Spülkriterien nach /win94/

L. Winkler /win94/ stellt den Zusammenhang zwischen dem Spülkriterium, der Spülstufenanzahl, dem Verschleppungsvolumen und der benötigten Frischwassermenge durch eine Bilanzierung der ein- und ausfließenden Stoffströme her. **Bild 7.17** zeigt den allgemeinen Bilanzierungsansatz für eine mehrstufige Kaskadenspülung. Dabei wird vereinfachend von zeitlich konstanten Wirkstoffkonzentrationen in den einzelnen Stufen sowie einer idealen Durchmischung ausgegangen.

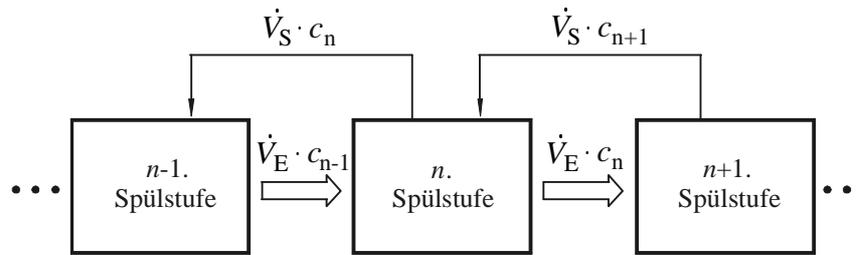


Bild 7.17 Ein- und ausfließende Stoffströme der n -ten Stufe einer Kaskadenspülung nach /win94/

Für das Spülkriterium ergibt sich mit den Stoffbilanzen nach /win94/:

$$S = \sum_{i=0}^n \left(\frac{\dot{V}_S}{\dot{V}_E} \right)^i \quad (7.52)$$

mit: S = Spülkriterium

\dot{V}_S = jeder Stufe zugeführter Spülwasservolumenstrom

\dot{V}_E = mit den Bauteilen verschleppter Flüssigkeitsvolumenstrom

n = Anzahl der Spülstufen

Der Frischwasserbedarf \dot{V}_F einer n -stufigen Kaskade kann nach *J. Unruh* /unr96/ folgendermaßen abgeschätzt werden:

$$\dot{V}_F = \dot{V}_E \left(\sqrt[n]{S - \frac{n^2 - 1}{n^2}} - \frac{1}{n} \right) \quad (7.53)$$

Diese Formel stellt für ein- und zweistufiges Spülen die exakte Lösung dar und ist für mehrstufiges Spülen eine sehr gute Näherung /unr96/. Umstellen dieser Gleichung nach dem mit den Bauteilen von Stufe zu Stufe verschleppten Flüssigkeitsvolumenstrom liefert:

$$\dot{V}_E = \dot{V}_F \left(\sqrt[n]{S - \frac{n^2 - 1}{n^2}} - \frac{1}{n} \right)^{-1} \quad (7.54)$$

Die Zahl der erforderlichen Spülstufen bei gegebenem Spülkriterium, Frischwasser- sowie Verschleppungsvolumenstrom kann nach /unr96/ näherungsweise ermittelt werden:

$$n \geq \frac{\lg(S)}{\lg\left(\frac{\dot{V}_S}{\dot{V}_E}\right)} \quad (7.55)$$

Mit den Gleichungen (7.52), (7.53), (7.54) und (7.55) stehen Näherungslösungen für die Berechnung der vier Kenngrößen Spülkriterium S , Frischwasservolumenstrom \dot{V}_F , Verschleppungsvolumenstrom \dot{V}_E und Spülstufenanzahl n zur Verfügung. Diese Gleichungen werden in einem leicht zu handhabenden interaktiven Berechnungstool hinterlegt (siehe **Bild 7.18**), in dem der Anwender bei Kenntnis dreier der vier Kenngrößen die jeweils fehlende Größe ermitteln kann.

Für Spülprozesse ohne Kaskadenführung werden ähnliche Hilfsmittel programmiert, die den Anwender bei der Planung und Grobauslegung seiner Spülprozesse unterstützen.

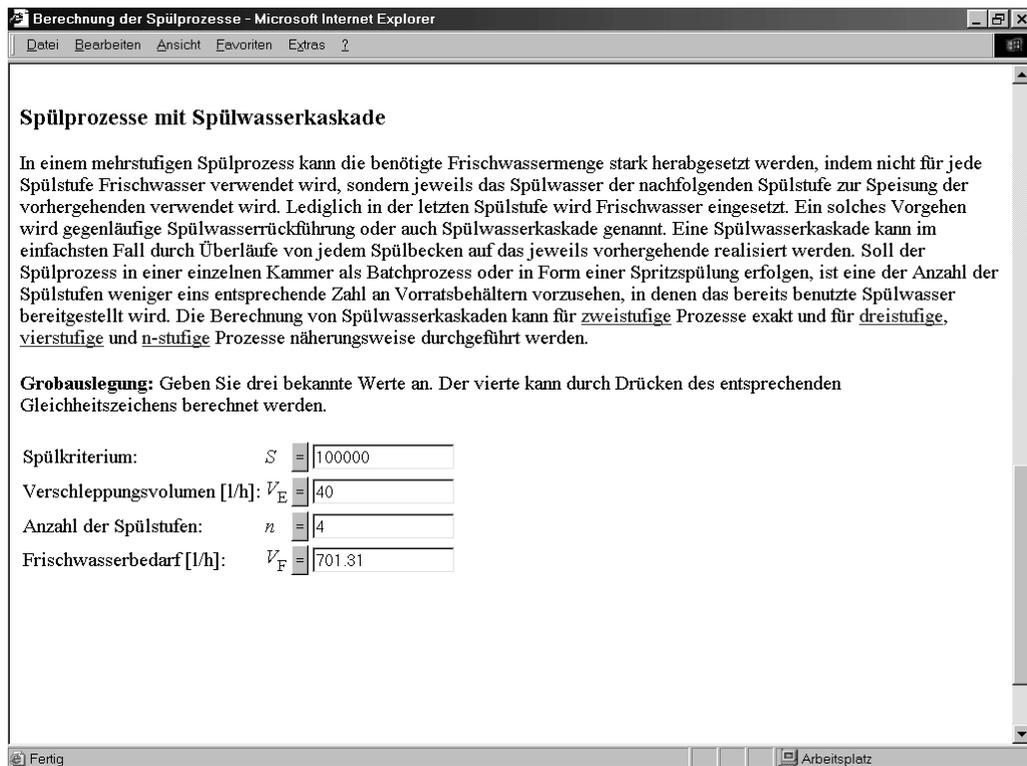


Bild 7.18 Auslegungshilfe für mehrstufige Spülprozesse mit Spülwasserkaskade

7.4.3 Auslegungshilfe für die Bauteiltrocknung durch Verdampfung

In früheren Jahren stellte die Bauteiltrocknung kein großes Problem dar, da die damals vornehmlich zur Reinigung verwendeten FCKW und CKW hervorragende Trocknungseigenschaften aufwiesen und die Umweltgesetzgebung im Hinblick auf Lösemittlemissionen noch nicht so streng wie heute war. Zumeist erfolgte die Trocknung durch Verdunstung des Lösemittels an der Umgebungsluft. Ein derartiges Vorgehen ist heutzutage nicht mehr zulässig. Die meisten der heute verwendeten Kohlenwasserstoffreiniger sind den Brandschutzklassen der Verordnung brennbarer Flüssigkeiten (VbF) zuzuordnen und stellen entsprechend hohe Anforderungen an die Anlagensicherheit. Aus Gründen des Explosionsschutzes muss die Trocknungstemperatur 15 °C unter dem Flammpunkt des Lösemittels gehalten werden, oder es muss eine Trocknung im Teilvakuum erfolgen. Werden hoch siedende Lösemittel verwendet, können zwar höhere Trocknungstemperaturen realisiert werden, allerdings steigt mit dem Flammpunkt tendenziell auch die Verdampfungsenthalpie der Produkte an, so dass entsprechend höhere Energien erforderlich sind. Bei der ebenfalls weit verbreiteten wässrigen Reinigung besteht zwar keinerlei Brandgefahr, allerdings weist Wasser aufgrund seines starken Dipolcharakters eine sehr hohe Verdampfungsenthalpie auf, und es kommt bei nicht rostfreien Stählen leicht zu Korrosion.

Die Bauteiltrocknung stellt in vielen Fällen den zeit- und energieaufwändigsten Prozessschritt der Reinigung dar und sollte daher bei der Anlagenplanung mit entsprechender Sorgfalt bedacht werden. In der Wissensbasis werden die unterschiedlichen Trocknungsverfahren sowie deren Anwendungsgebiete beschrieben. Wo dies möglich ist, sind zudem Auslegungsdiagramme und Berechnungstools hinterlegt. Im Folgenden soll beispielhaft ein Auslegungshilfsmittel für die Verdampfungstrocknung unter Atmosphärendruck vorgestellt werden.

Bei der Trocknung durch Verdampfung muss das vorliegende Flüssigkeitsvolumen V_{F1} zunächst von der Ausgangstemperatur T_A bis zur Siedetemperatur T_S erhitzt werden. Mit der Dichte ρ_{F1}

und der spezifischen isobaren Wärmekapazität der Flüssigkeit c_P ergibt sich die dabei erforderliche Wärmemenge zu:

$$W_S = V_{\text{Fl}} \cdot \rho_{\text{Fl}} \cdot c_P \cdot (T_S - T_A) \quad (7.56)$$

Anschließend muss die Flüssigkeit unter Aufbringung der Verdampfungsenthalpie h_V vollständig verdampft werden. Hierzu ist die folgende Wärmemenge erforderlich:

$$W_V = V_{\text{Fl}} \cdot \rho_{\text{Fl}} \cdot h_V \quad (7.57)$$

Wird von einer indirekten Wärmezufuhr, z. B. durch Wärmeleitung, ausgegangen, erwärmen sich die zu trocknenden Bauteile ebenfalls bis auf T_S . Mit der Masse der Bauteile m_B und der spezifischen isobaren Wärmekapazität $c_{P,B}$ ergibt sich die zusätzlich aufzubringende Wärmemenge zu:

$$W_B = m_B \cdot c_{P,B} \cdot (T_S - T_A) \quad (7.58)$$

Die für die Trocknung erforderliche Gesamtwärmemenge ergibt sich damit zu:

$$W_G = W_S + W_V + W_B \quad (7.59)$$

Die während der Trockenzeit t_T aufzubringende Heizleistung P_H beträgt:

$$P_H = \frac{W_G}{t_T} \quad (7.60)$$

Diese Heizleistung stellt einen Mindestwert dar. Hinzu kommen Wärmeverluste an die Umgebung, welche nur bei genauer Kenntnis der Trocknungsanlage und der Umgebungsbedingungen rechnerisch ermittelt werden können. Bei der Grobauslegung einer Anlage kann in erster Näherung von einem Verlust von 20 % bis 40 % der oben berechneten Leistung ausgegangen werden. Die vorstehenden Formeln sind in einer einfach zu handhabenden Berechnungsmaske zur Grobauslegung von Trocknungsprozessen hinterlegt (siehe **Bild 7.19**).

Grobauslegung einer Bauteiltrocknung durch Verdampfung

Reinigungsflüssigkeit	Tabelle	Aceton	Ausgangstemperatur [°C]:	$T_A =$	20
Wärmekapazität [kJ/kg K]:	c_P	=	Teiledurchsatz [kg/h]:	$m_B =$	100
Siedetemperatur [°C]:	T_S	=	Verschleppungsvolumen [l/h]:	$V_{\text{Fluid}} =$	9
Dichte [kg/dm ³]:	ρ_{Fluid}	=			
Verdampfungsenthalpie [kJ/kg]:	h_V	=			
Bauteilwerkstoff		Stahl			
Wärmekapazität [kJ/kg K]:	c_{pB}	=			

Berechnen

Erforderliche Dauer-Heizleistung [W]: $P_H =$ 1654.00

Die berechnete Heizleistung stellt lediglich die Mindest-Dauer-Heizleistung unter Vernachlässigung von Wärmeverlusten an die Umwelt dar. Die tatsächliche Heizleistung sollte um ca. 20 % bis 40 % höher angesetzt werden.

[Grundlagen der Berechnung](#)

Bild 7.19 Auslegungshilfe für die Verdampfungstrocknung unter Atmosphärendruck

8 Anbieterdatenbank zur gezielten Kontaktvermittlung

In kleinen und mittelständischen Unternehmen des produzierenden Gewerbes werden Reinigungsanlagen in der Regel nicht selbst konstruiert, sondern es wird auf das Fachwissen eines Reinigungsexperten zurückgegriffen, oder es werden anschlussfertige Reinigungsanlagen zugekauft. Um auch in diesem Bereich Hilfestellung zu geben, wird eine Anbieterdatenbank in das Fachinformationssystem integriert, welche eine gezielte Kontaktvermittlung zwischen den Anbietern aus der Reinigungsbranche und deren potentiellen Kunden ermöglicht.

In die Datenbank soll jeder Anbieter aus dem Bereich der industriellen Bauteilreinigung einen Eintrag vornehmen können. Dabei wird ein umfangreiches Firmenprofil hinterlegt, welches neben allen erforderlichen Kontaktinformationen auch das Produktprogramm und die Kompetenzfelder der jeweiligen Firma widerspiegelt. Mit Hilfe dieser zusätzlichen Angaben können Anbieter und Anwender gezielt zusammengeführt werden. Dabei sind zwei unterschiedliche Vorgehensweisen möglich. Verfügt der Anwender über wenig Fachwissen aus dem Bereich der industriellen Bauteilreinigung, kann er sich von dem Fachinformationssystem zu möglicherweise geeigneten Ansprechpartnern führen lassen, mit denen dann die Details der Reinigungsaufgabe besprochen werden können. Ist der Anwender sich hingegen bereits darüber im klaren, welche Anforderungen an den Anbieter zu stellen sind, kann er mit entsprechenden Suchkriterien gezielt auf die Datenbank zugreifen.

8.1 Geführte Kontaktvermittlung

Ist ein Kontakt zu einem Experten aus der Reinigungsbranche gesucht, stellt sich für den Anwender die Frage, welcher der zum Teil auf einige wenige Reinigungsverfahren spezialisierten Anbieter im konkreten Fall geeignet ist. Mit dem Fachinformationssystem erhält der Anwender die Möglichkeit einer geführten Kontaktvermittlung, bei der er auch ohne tiefer gehendes Fachwissen auf einfache Art und Weise geeignete Ansprechpartner ermitteln kann. Das dabei realisierte Vorgehen ist in **Bild 8.1** schematisch dargestellt.

Der Anwender spezifiziert das Anforderungsprofil seiner Reinigungsaufgabe in dem in Kapitel 6 erarbeiteten Fragebogen und übermittelt diesen über das Internet an das Vorbewertungssystem. Daraufhin erhält er eine komprimierte Übersicht über die Eignung der einzelnen Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel für seine konkrete Aufgabe. Nähere Informationen zu den vorgeschlagenen Varianten liefert die in Kapitel 7 beschriebene Wissensbasis des Systems. Entscheidet sich der Anwender nun für ein Reinigungsverfahren, kann er sämtliche Anbieter aus der Datenbank heraussuchen lassen, die das gewählte Verfahren als Kompetenzbereich in ihrem Firmenprofil vermerkt haben. Der Anwender findet auf diese Weise schnell und auf direktem Wege geeignete Ansprechpartner und es kann eine zielorientierte Zusammenarbeit eingeleitet werden.

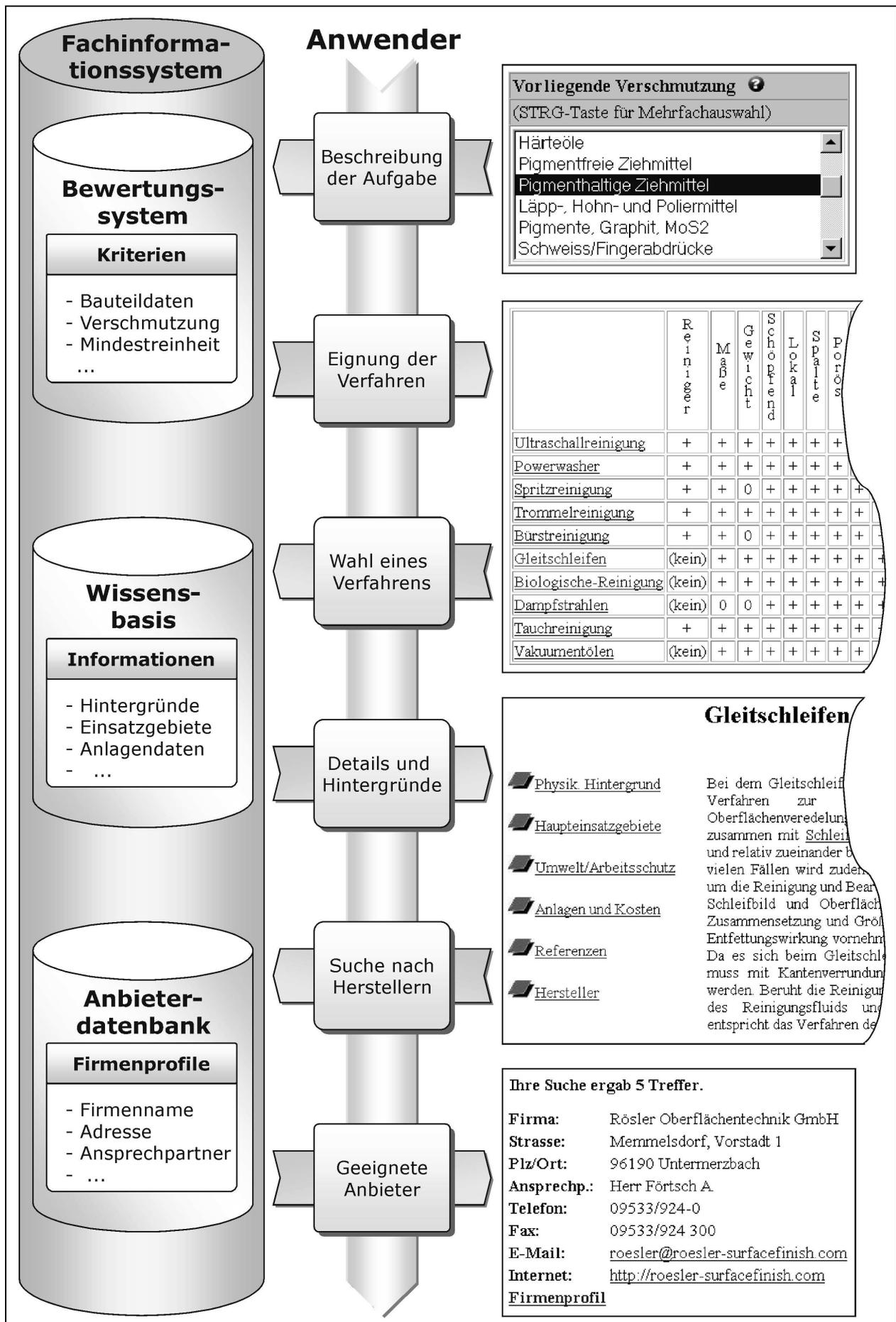


Bild 8.1 Geführte Vermittlung von Anbieterkontakten durch das Fachinformationssystem

8.2 Gezielte Suche in der Anbieterdatenbank

Neben der geführten Kontaktvermittlung kann der Anwender auch direkt in der Anbieterdatenbank recherchieren. Hierzu steht ihm die in **Bild 8.2** dargestellte Eingabemaske zur Verfügung. Als Suchkriterien können sowohl der Firmennamen und die Firmenadresse als auch die angebotenen Produktkategorien verwendet werden. Die Möglichkeit, einzelne Reinigungsverfahren oder Reinigungsmittel bei der Suche zu berücksichtigen oder explizit auszuschließen, lässt eine individuelle Zusammenstellung von Anbieterinformationen zu.

The screenshot shows a web browser window titled 'Eingabeformular - Microsoft Internet Explorer'. The page header includes 'UNIVERSITÄT DORTMUND' and 'Fakultät Maschinenbau Fachgebiet Maschinenelemente'. The main heading is 'Suche nach Anbietern'. The form is divided into two columns: 'Anbieter' and 'Produktkategorien'. The 'Anbieter' column has input fields for 'Firma:', 'Ort:', and 'Plz:' with a 'suchen' button below. The 'Produktkategorien' column has dropdown menus for 'Nassverfahren:', 'Strahlverfahren:', 'Mechanische Verfahren:', 'Thermische Verfahren:', 'Sonderverfahren:', and 'Reinigungsmittel:'. The 'Reinigungsmittel:' dropdown is open, showing a list of options: '[alle]', '[keines]', 'Flammstrahlen', 'Ofenreinigung', 'Laserstrahlreinigung', 'Wirbelbettreinigung', and 'Salzbadreinigung'. At the bottom, there are navigation links: 'Hauptseite', 'Auswahlsystem', 'Hersteller', 'Wissensbasis', and 'Suchen'. The footer contains '© Fachgebiet Maschinenelemente, UniDo' and '| Kontakt | Impressum |'.

Bild 8.2 Eingabemaske für die gezielte Suche in der Anbieterdatenbank

8.3 Eintrag von Firmenprofilen

Für die Erstellung eines umfassenden Firmenprofils in der Anbieterdatenbank müssen neben allen erforderlichen Kontaktinformationen, wie Firmensitz, Ansprechpartner, Fax- und Telefonnummern, auch die angebotenen Produktkategorien und die Kompetenzfelder des Unternehmens hinterlegt werden. Hierzu werden dem Anbieter einfach zu handhabende Formulare zur Verfügung gestellt.

Der Anbieter ruft zunächst ein Formular auf, in welchem er die Adresse seines Unternehmens sowie alle erforderlichen Kontaktinformationen hinterlegt (**Bild 8.3**). Bevor das Formular abgeschickt werden kann, überprüft eine eingebettete *JavaScript*-Routine die Einträge auf Plausibilität und Vollständigkeit. Zum Beispiel werden als Postleitzahl ausschließlich vier- oder fünfstelligen Nummern ohne Buchstaben oder Sonderzeichen akzeptiert. Der Anbieter wird auf eventuelle Fehleingaben aufmerksam gemacht und aufgefordert, diese zu korrigieren.

Herstellerregistrierung - Schritt 1 - Microsoft Internet Explorer

Herstellerregistrierung

Firmendaten

Bitte tragen Sie hier Ihre Firmendaten und -adresse ein.
Wenn Sie eine eigene Firmenpräsentation im Internet anbieten, tragen Sie dieses entsprechend ein.

Firmenname*: CleanTech GmbH

Straße*: Am Haferkamp **Nr.*:** 45

PLZ*: 44134 **Ort*:** Dortmund

Ansprechpartner: Herr Mender

Telefon Nr.*: 0231 - 66787-34

Fax Nr.: 0231 - 66787-70

E-Mail: mender@cleantech.de

Link zu Ihrer Website: www.cleantech.net

Freitext: Hier haben sie die Möglichkeit, etwas über Ihre Firma, Produkte oder Ihren Service zu schreiben.
Wir sind Hersteller von Ultraschall- und anderen Sonderreinigungsanlagen. Die Zufriedenheit unserer Kunden

Zum Schritt 2 >>

Bild 8.3 Formular zum Eintrag von Firmendaten

Im nächsten Schritt ist der Anbieter aufgefordert, sein Produktprogramm bzw. seine Kompetenzfelder zu beschreiben. Von einer Hauptseite ausgehend kann auf Unterseiten zu den einzelnen Verfahrensgruppen bzw. Reinigern verzweigt werden (**Bild 8.4**).

Herstellerregistrierung - Schritt 2 - Microsoft Internet Explorer

Strahlreinigung

Reinigungsmittel

Nass-Reinigung

Thermische Reinigung

Mechanische Reinigung

Sonderverfahren

Wählen sie bitte alle Reinigungsverfahren an, zu denen Ihre Firma Anlagen anbietet. Ihr Eintrag wird diesen Angaben entsprechend in die Datenbank einsortiert.

Die zusätzlichen Angaben bezüglich der verfügbaren Anlagentypen sind optional und dienen lediglich der Information des Kunden

Weiter zum nächsten Schritt >>

Bild 8.4 Formular zum Eintrag der Kompetenzfelder eines Anbieters

Auf den jeweiligen Unterseiten müssen nun all diejenigen Reinigungsverfahren und -mittel gekennzeichnet werden, die zum Produktspektrum des Anbieters zählen (siehe **Bild 8.5**). Die an dieser Stelle gemachten Angaben dienen der Datenbank als Ordnungskriterien und erlauben eine thematisch eingegrenzte Anbietersuche, wie sie in den Abschnitten 8.1 und 8.2 beschrieben ist.

Zu den einzelnen Produktkategorien können typische Kenngrößen, wie etwa die minimale und maximale Größe der mit den angebotenen Anlagen zu reinigenden Teile, angegeben werden. Diese zusätzlichen Informationen sollen dem Anwender zur besseren Orientierung dienen. Sucht ein Anwender zum Beispiel einen Anbieter von Bürstreinigungsanlagen, da er Kleinteile zu reinigen hat, so sind für ihn Anbieter, welche sich auf Autowaschanlagen spezialisiert haben, vermutlich nicht von Interesse.

Herstellerregistrierung

Sonder-Reinigungsverfahren

<input type="checkbox"/>	Plasmareinigung	Kammergröße	Anschlussleistung
		von <input type="text"/> l	von <input type="text"/> kW
		bis <input type="text"/> l	bis <input type="text"/> kW
<input checked="" type="checkbox"/>	UV-Licht-Reinigung	Kammergröße	
		von <input type="text" value="10"/> l	
		bis <input type="text" value="1000"/> l	
<input type="checkbox"/>	Elektrochemische Reinigung	Badgröße	
		von <input type="text"/> l	
		bis <input type="text"/> l	
<input type="checkbox"/>	Reinigung mit überkritischem CO₂	Kammergröße	
		von <input type="text"/> l	
		bis <input type="text"/> l	
<input checked="" type="checkbox"/>	Reinigung mit flüssigem CO₂		
<input type="checkbox"/>	Vakuumtöfen	Kammergröße	
		von <input type="text"/> l	
		bis <input type="text"/> l	
<input type="checkbox"/>	Reinigen mit Blitzlampen		
<input checked="" type="checkbox"/>	Biologische Reinigung		

Hauptformular

Bild 8.5 Formular zum Eintrag typischer Kenngrößen der angebotenen Anlagen

Im letzten Schritt müssen noch eine Benutzerkennung sowie ein Passwort für den Datenbankeintrag festgelegt werden, um eine unbefugte Veränderung der Daten zu verhindern (siehe **Bild 8.6**).

Herstellerregistrierung

Benutzerdaten

User Name*

Passwort (min. 5 Zeichen)*

Passwort (Wiederholung)*

Bild 8.6 Formular zum Eintrag der Benutzerdaten

Beim Verlassen dieses letzten Formulars wird das nun vollständige Firmenprofil über das Internet an das Fachinformationssystem gesandt und dort in die Anbieterdatenbank eingepflegt.

8.4 Informationstechnische Umsetzung

Bei dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fachinformationssystem handelt es sich um ein frei über das Internet zugängliches, serverbasiertes System. Der Benutzer greift von seinem Arbeitsplatzrechner über das World-Wide-Web direkt auf einen zentralen Server zu. Als Benutzerschnittstelle dienen dabei handelsübliche Browser, die auf nahezu jedem Arbeitsplatzrechner mit Internetanschluss vorhanden sind. Der Anwender tritt mit dem Fachinformationssystem in einen Dialog und wird auf schnell zu den für ihn relevanten Informationen geführt. Die Pflege der Anbieterdatenbank erfolgt durch die Anbieter selbst, ebenfalls über das Internet. Auf diese Weise kann die Aktualität der Einträge sichergestellt werden (siehe **Bild 8.7**).

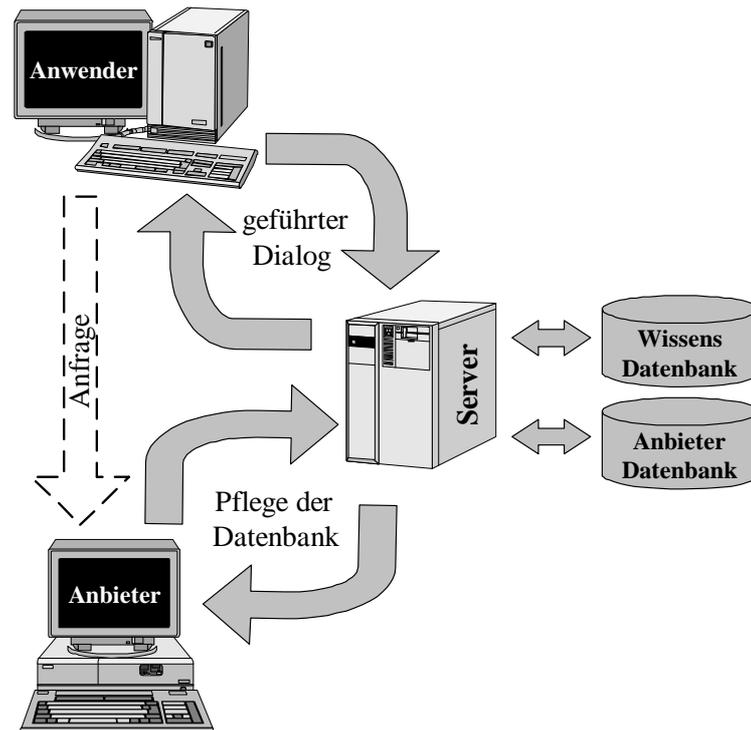


Bild 8.7 Struktur des internetbasierten Fachinformationssystems

Eine derartige serverbasierte Lösung bietet gegenüber einem downloadbaren und lokal ausgeführten Programm einige entscheidende Vorteile:

- Das System erfährt durch Internetsuchmaschinen eine weite Verbreitung.
- Der Zugriff erfolgt plattformunabhängig über das World-Wide-Web.
- Durch Verwendung gängiger Browser ist das System intuitiv zu bedienen.
- Es existiert nur eine Programmversion.
- Programmänderungen und Updates können zentral erfolgen.
- Die Datenbanken können durch die Anbieter fortlaufend aktualisiert werden.
- Das System kann von dem Betreiber überwacht und betreut werden.
- Zwischen Anwendern und Anbietern können gezielt Kontakte vermittelt werden.

Für die technische Umsetzung des Konzeptes wird auf einem handelsüblichen PC eine dem derzeitigen Stand der Technik entsprechende so genannte *LAMP*-Konfiguration (*Linux, Apache, MySQL, PHP*) eingerichtet (siehe **Bild 8.8**). Bei einem Internet-Provider wird die aussagekräftige URL "*www.bauteilreinigung.de*" reserviert und eine Umleitung auf die *IP (Internet Protokoll)*-Nummer des eingerichteten Servers geschaltet.

Als Betriebssystem wird die weit verbreitete, stabile und flexible Software *Linux* gewählt. Hierbei handelt es sich um ein *UNIX*-Derivat, das 1991 durch den Finnen *Linus Torvalds* begründet wurde und heute als Open-Source-Software von einer Vielzahl von Programmierern weiterentwickelt wird. Das Betriebssystem *Linux* stellt die grundlegenden Funktionen des Servers bereit und bildet die Basis für Netzwerkzugriffe.

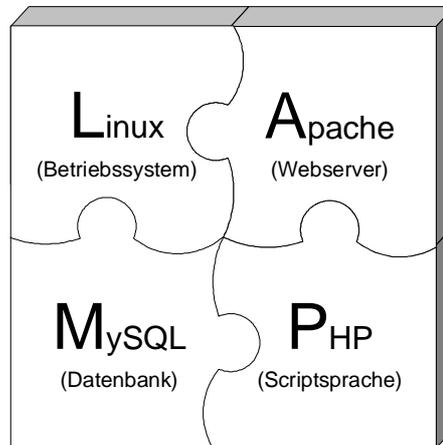


Bild 8.8 LAMP-Konfiguration

Der Webserver *Apache* übernimmt die Bereitstellung des Systems im World-Wide-Web und übermittelt dem Arbeitsplatzrechner des Anwenders Informationsseiten in dem Textformat *HTML*. Das Kürzel *HTML* steht für *Hyper Text Markup Language*. Es handelt sich hierbei um eine so genannte Auszeichnungssprache (*Markup Language*), in der die logischen Bestandteile der übermittelten Dokumente, wie z. B. Tabellen, Grafikreferenzen oder Überschriften, durch einfache Textbefehle ausgezeichnet werden. Wird ein *HTML*-Text in einem Internet-Browser geöffnet, werden die Auszeichnungen aufgelöst und als Formatierungsvorschriften interpretiert. Eine zusätzliche Eigenschaft von *HTML* ist die Möglichkeit, Verweise, so genannte *Hyperlinks*, zu definieren. Derartige Verweise können zu anderen Stellen des Textes oder auch zu anderen Dateien auf dem Server bzw. auf einem beliebigen anderen Rechner im Internet führen. Das Textformat *HTML* bildet gewissermaßen die Grundlage des World-Wide-Web.

Da es sich bei *HTML* um ein reines Textformat handelt, können lediglich statische Webseiten dargestellt werden. Für die Integration interaktiver Elemente, wie z. B. Popup-Fenster oder sich beim Überfahren mit der Maus verändernde Grafiken, muss eine Programmiersprache eingesetzt werden. Als Standard für derartige Einsatzfälle hat sich *JavaScript* etabliert. Hierbei handelt es sich um eine einfache Skriptsprache mit aus Sicherheitsgründen begrenztem Funktionsumfang, welche direkt in *HTML*-Texte integriert werden kann und von allen heute verwendeten Web-Browsern interpretiert wird.

Für den dynamischen Aufbau individueller Informationsseiten sowie den Zugriff auf die *MySQL*-Datenbank reicht die Kombination von *HTML* und *JavaScript* nicht aus. Hierzu wird die serverseitig interpretierte, objektorientierte Skriptsprache *PHP* (*Hypertext Preprocessor*) eingesetzt. *PHP*-Code wird zwar ähnlich wie *JavaScript* direkt in *HTML*-Dateien eingebettet, die entsprechenden Programmteile werden jedoch bereits auf dem Webserver durch einen *PHP*-Interpreter ausgeführt. Auf diese Weise kann ein Zugriff auf die Festplatten des Servers sowie auf die *MySQL*-Datenbank realisiert werden. Die nach der Ausführung des *PHP*-Codes an den Client-Rechner übermittelte Seite besteht aus den unverändert weitergeleiteten *HTML*- bzw. *JavaScript*-Teilen der Datei sowie aus *HTML*- und *JavaScript*-Teilen, die durch das *PHP*-Programm dynamisch erzeugt wurden.

Kategorisierte Anbieterinformationen und das zur Verfahrenswahl erforderliche Fachwissen werden in *MySQL*-Datenbanken hinterlegt, um sie für die entsprechenden *PHP*-Skripte auf einfache Art und Weise nutzbar zu machen. Bei *MySQL* handelt es sich um ein preisgünstiges relationales Datenbank-Managementsystem (*RDBMS*) für kleine bis mittelgroße Anwendungen, welches auf dem weit verbreiteten *ANSI*-Sprach-Standard *SQL* (*Structured Query Language*) basiert. Als relationales Datenbanksystem verwaltet *MySQL* sämtliche Datensätze in Form von Tabellen. Die Datensätze bilden die Zeilen, und die Merkmale des Objekts entsprechen den Spalten der Tabellen. Beziehungen zwischen einzelnen Datensätzen werden über gleiche Feldinhalte hergestellt. Der Benutzer greift auf die Daten mit logischen, mengenorientierten Abfragen zu. Die mit *MySQL* erstellten Datenbanken sind netzwerkfähig und erlauben einen parallelen Zugriff mehrerer Anwender.

Die Kommunikation zwischen dem Arbeitsplatzrechner des Anwenders, dem Webserver und den *MySQL*-Datenbanken wird folgendermaßen realisiert. Der Anwender kann zunächst seine Reinigungsaufgabe in einem *HTML*-Fragebogen anhand vorgegebener Kategorien beschreiben (Schritt 1 in **Bild 8.9**). Der Fragebogen wird über das Internet an den Webserver übertragen und dort von einem *PHP*-Skript ausgewertet. Dabei wird über die netzwerkfähige Datenbanksprache *MySQL* auf eine relationale Wissensdatenbank zugegriffen (Schritt 2 in **Bild 8.9**).

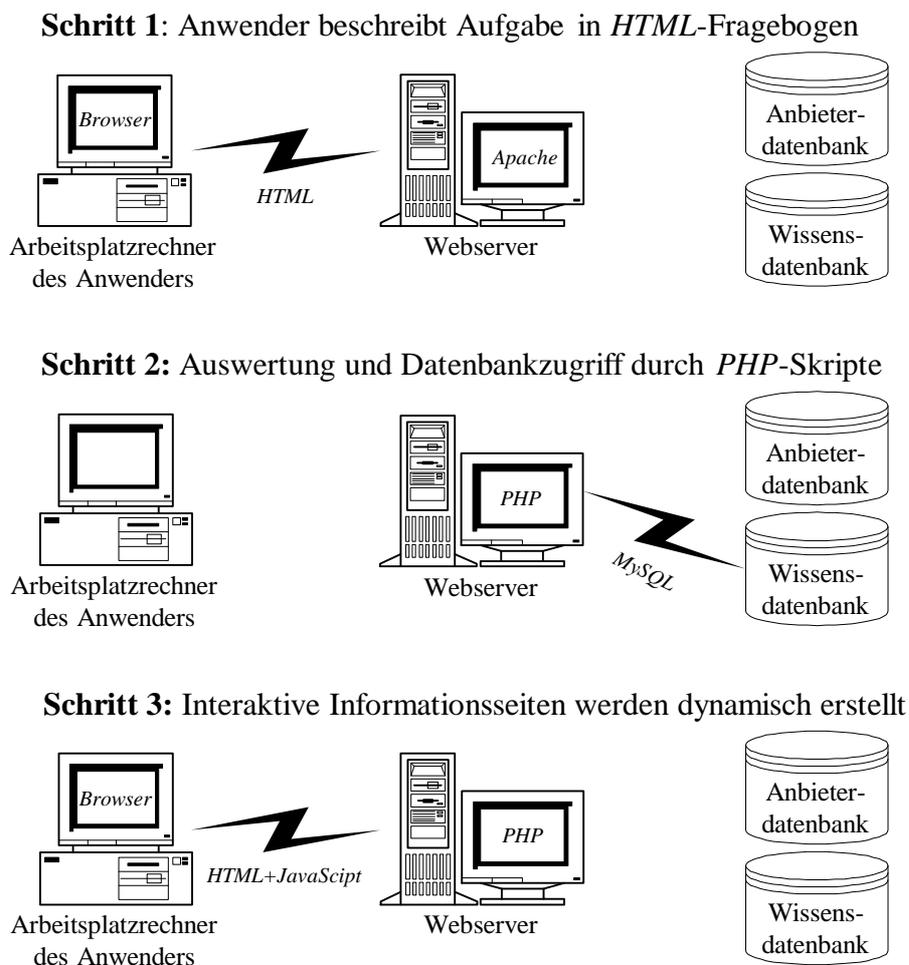


Bild 8.9 Individuelle Zusammenstellung von Fachinformationen

Die Ergebnisse der Auswertung werden dann in Form von individuell erstellten *HTML*-Seiten auf den Arbeitsplatzrechner des Anwenders übertragen (Schritt 3 in **Bild 8.9**). Dabei werden interaktive Elemente, wie z. B. Popup-Fenster mit ergänzenden Informationen, in der clientseitig interpretierten Skriptsprache *JavaScript* realisiert. Der Anwender kann durch vorgegebene Hyperrefe-

renzen (*Links*) durch das Informationsangebot navigieren und durch weitere Dateneingaben mit dem System in Dialog treten. Auf diese Weise wird dem Anwender zunächst eine komprimierte Übersicht der für seinen konkreten Einsatzfall relevanten Informationen gegeben, von der ausgehend er vertiefende Informationen zu einzelnen Themenbereichen abrufen kann.

Bei der Suche nach geeigneten Anbietern übermittelt der Anwender seine Suchanfrage an den Webserver (Schritt 4 in **Bild 8.10**). Dabei können unterschiedliche Suchkriterien, wie die Art der angebotenen Anlagen, Firmensitz oder Kompetenzfelder der Anbieter, verwendet werden. Auf dem Webserver wird von einem *PHP*-Skript eine entsprechende Suchanfrage in der Datenbanksprache *MySQL* formuliert und an die Anbieterdatenbank übermittelt (Schritt 5 in **Bild 8.10**). Die Ergebnisse der Datenbankabfrage werden in Form einer übersichtlichen *HTML*-Tabelle mit Hyperreferenzen zu den Internetpräsenzen der Anbieter aufbereitet und auf den Arbeitsplatzrechner des Anwenders übertragen (Schritt 6 in **Bild 8.10**).

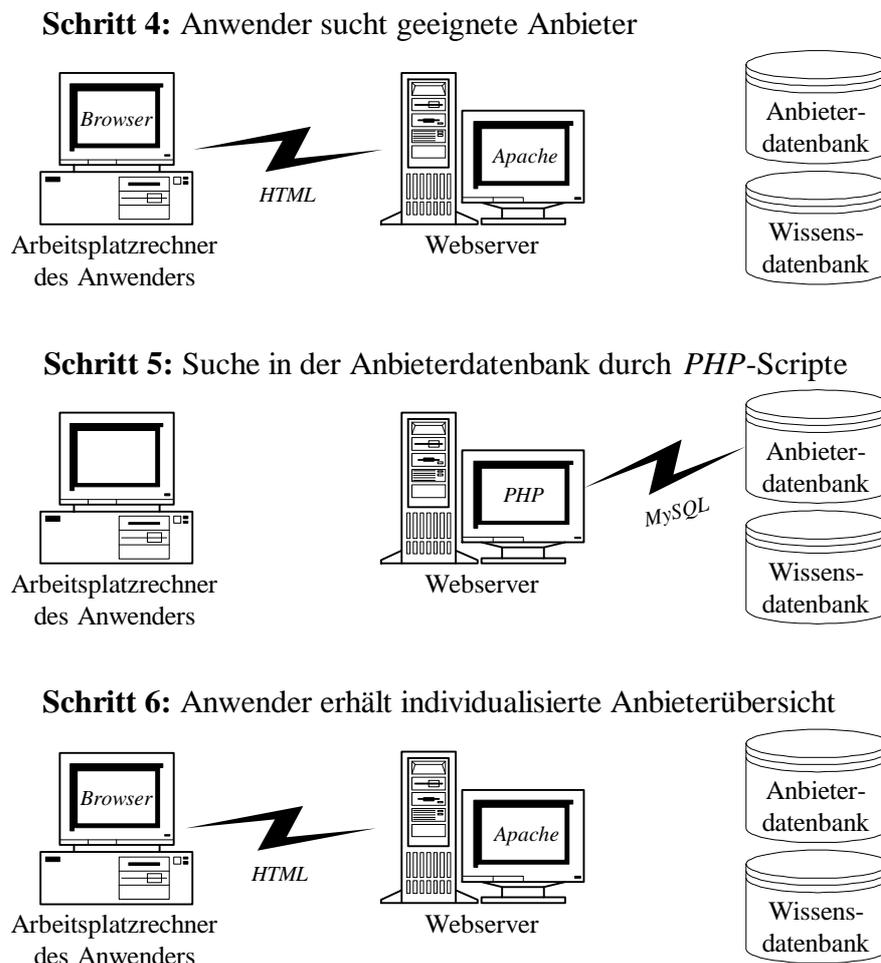


Bild 8.10 Suche nach geeigneten Anbietern

Um die Aktualität des Systems zu gewährleisten, erfolgt die Pflege der Anbieterdatenbank nicht zentral durch den Betreiber des Systems, sondern dezentral durch die Anbieter. Dazu müssen die in Abschnitt 8.3 beschriebenen Formulare vom Anbieter ausgefüllt und an den Webserver übergeben werden. Dort erzeugt ein *PHP*-Skript entsprechende Datenbankkommandos in *MySQL* und übermittelt diese an die Anbieterdatenbank. Der so erzeugte Datensatz wird mit einer Benutzerkennung und einem Passwort abgesichert. Die Änderung eines bereits bestehenden Datensatzes kann nur unter Angabe dieses Passwortes erfolgen.

9 Reinigungsgerechte Bauteilgestaltung

Bei der Planung einer Reinigungsanlage wird bislang von bestehenden Bauteilen ausgegangen, welche zur Durchführung nachfolgender Prozessschritte gereinigt werden müssen. Die Reinigung stellt insbesondere bei Werkstücken mit komplizierten Geometrien und hohen Reinheitsanforderungen einen erheblichen Kostenfaktor dar. Gelingt es, die spezifischen Erfordernisse der Reinigung bereits bei der Konstruktion der Bauteile zu berücksichtigen, können zum Teil erhebliche Einsparungen erzielt werden.

Der Konstrukteur muss einen Überblick über sämtliche der Konstruktion angrenzenden Technikbereiche besitzen, um in jeder Hinsicht optimale Produkte gestalten zu können. Dementsprechend finden sich in den gängigen Lehrbüchern der Konstruktionstechnik /ko198/, /nie01/, /pah97/ eine Vielzahl von Leitregeln, unter anderem für die fertigungsgerechte, beanspruchungsgerechte, montagegerechte, instandhaltungsgerechte, normgerechte, ausdehnungsgerechte, ergonomiegerechte, sicherheitsgerechte, recyclinggerechte und prüfgerechte Gestaltung. Der Konstrukteur versucht, sämtliche Konstruktionsregeln zu berücksichtigen und muss bei sich widersprechenden Forderungen tragfähige Kompromisse erarbeiten. In der Fachliteratur sind bislang jedoch noch keine Leitregeln zu finden, die auf eine effektive und kostengünstige Bauteilreinigung abzielen. Hierdurch kommt das noch wenig ausgeprägte Problembewusstsein hinsichtlich der Anforderungen der Bauteilreinigung zum Ausdruck.

In diesem Kapitel werden daher Leitregeln für die reinigungsgerechte Bauteilgestaltung abgeleitet, welche dem Konstrukteur helfen sollen, bereits im frühen Stadium der Produktentstehung potentielle Schwierigkeiten hinsichtlich der späteren Reinigung zu erkennen und zu vermeiden.

9.1 Konstruktive Leitregeln

Die Bauteileigenschaften, die bei der Reinigung zu Problemen führen können, sind äußerst vielfältig und variieren je nach eingesetztem Reinigungsverfahren und Reinigungsmittel. Zum Beispiel sind enge, kapillar wirkende Spalte und Hohlräume durch Reinigungsflüssigkeiten nur schwer zu reinigen. Für eine Plasmareinigung stellen sie hingegen kein Problem dar. Da das eingesetzte Reinigungsprinzip außer von der Bauteilgestaltung auch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängt, die zum Zeitpunkt der Konstruktion des Bauteils in der Regel noch nicht überschaut werden können, ist es nicht sinnvoll, die Bauteilgeometrie auf bestimmte Reinigungsverfahren hin zu optimieren. Vielmehr liegt ein großes Potential zur Kostenersparnis gerade in der Möglichkeit des Ersatzes teurer Reinigungsverfahren durch kostengünstigere.

Im Folgenden werden allgemeingültige Leitregeln für die reinigungsgerechte Bauteilgestaltung erarbeitet, die möglichst viele Optionen bei der Wahl der einzusetzenden Reinigungsverfahren und -mittel offenlassen. In Einzelfällen können diese sich gegenseitig widersprechen. Der Konstrukteur muss dann abwägen, welche der Regeln im konkreten Fall von größerer Bedeutung ist.

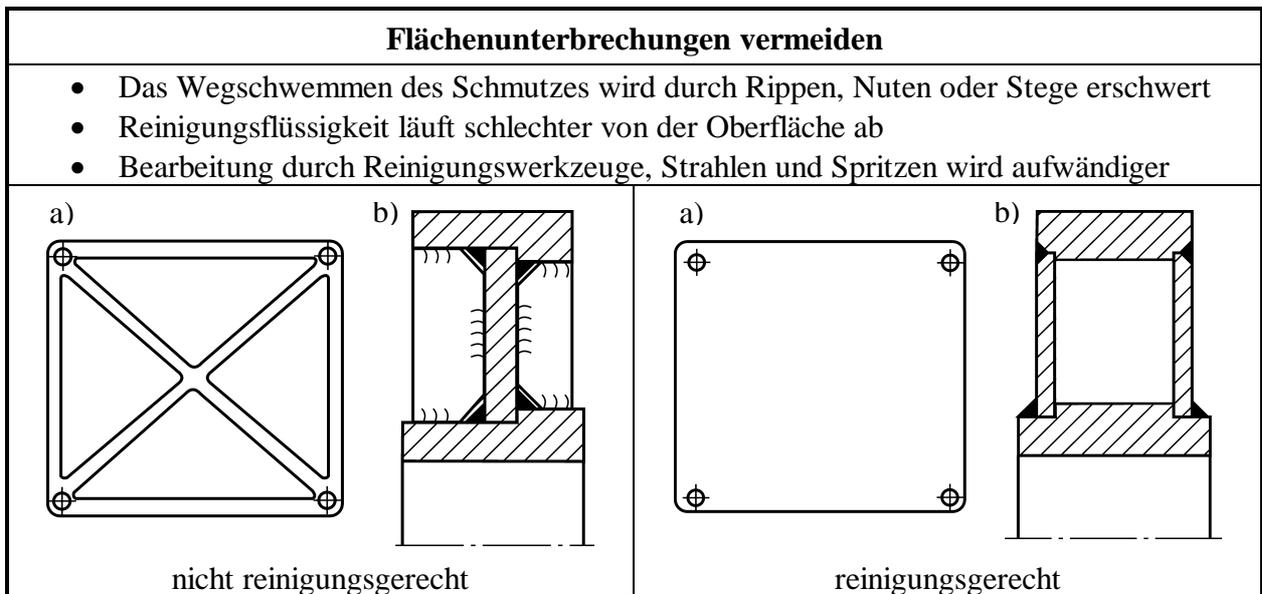


Bild 9.1 Gestaltungsregel 1

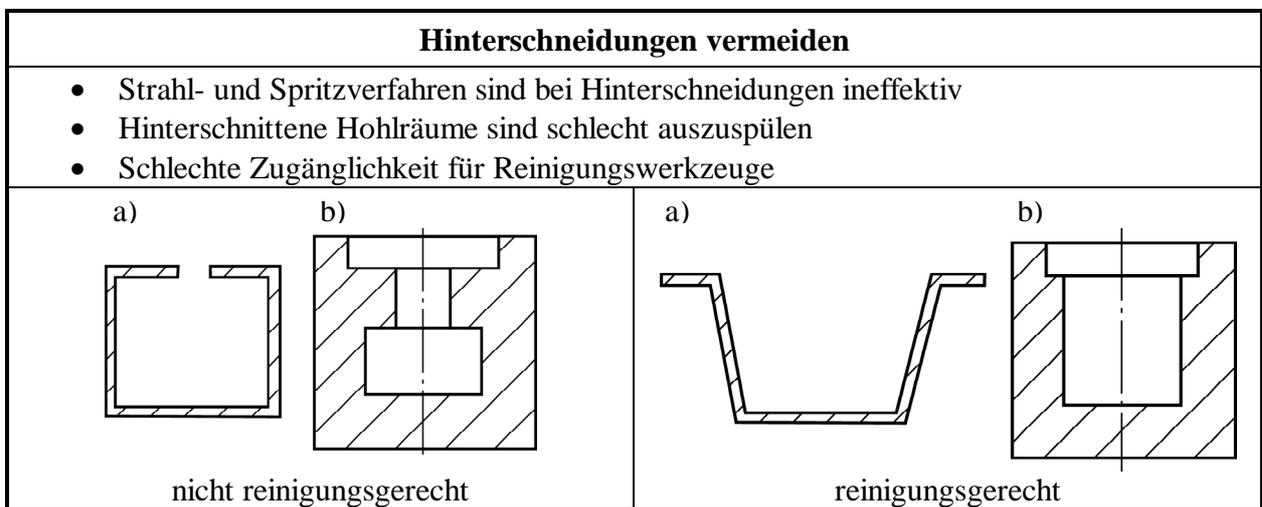


Bild 9.2 Gestaltungsregel 2

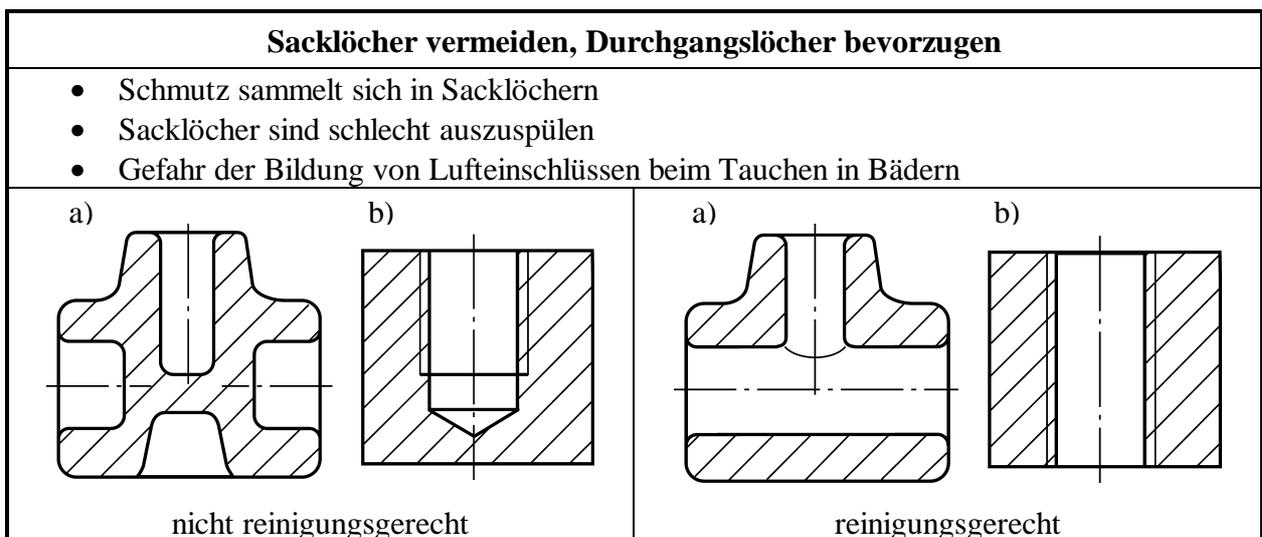


Bild 9.3 Gestaltungsregel 3

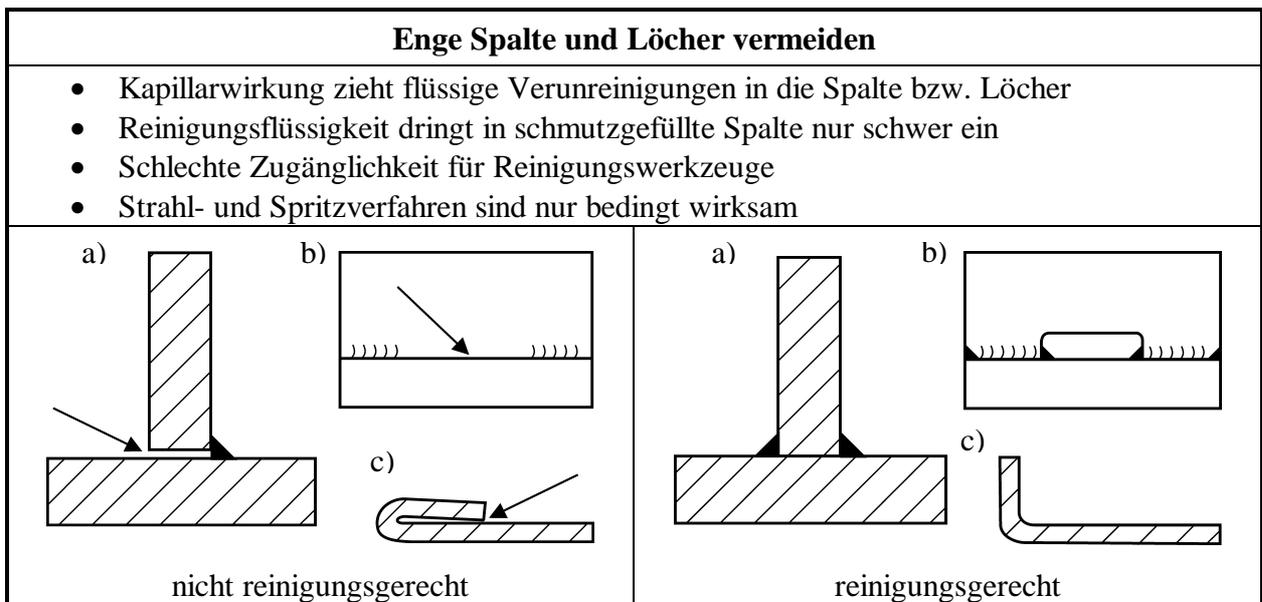


Bild 9.4 Gestaltungsregel 4

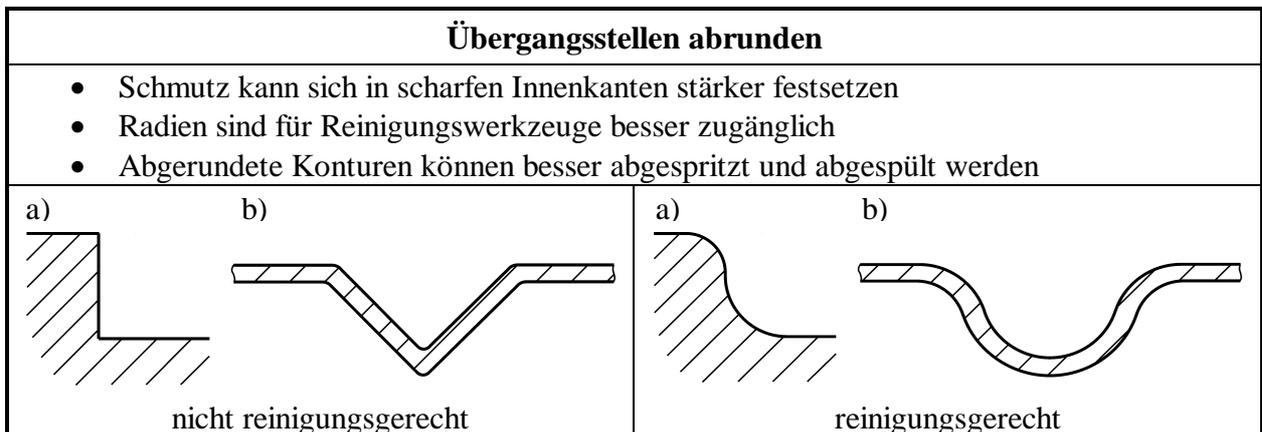


Bild 9.5 Gestaltungsregel 5

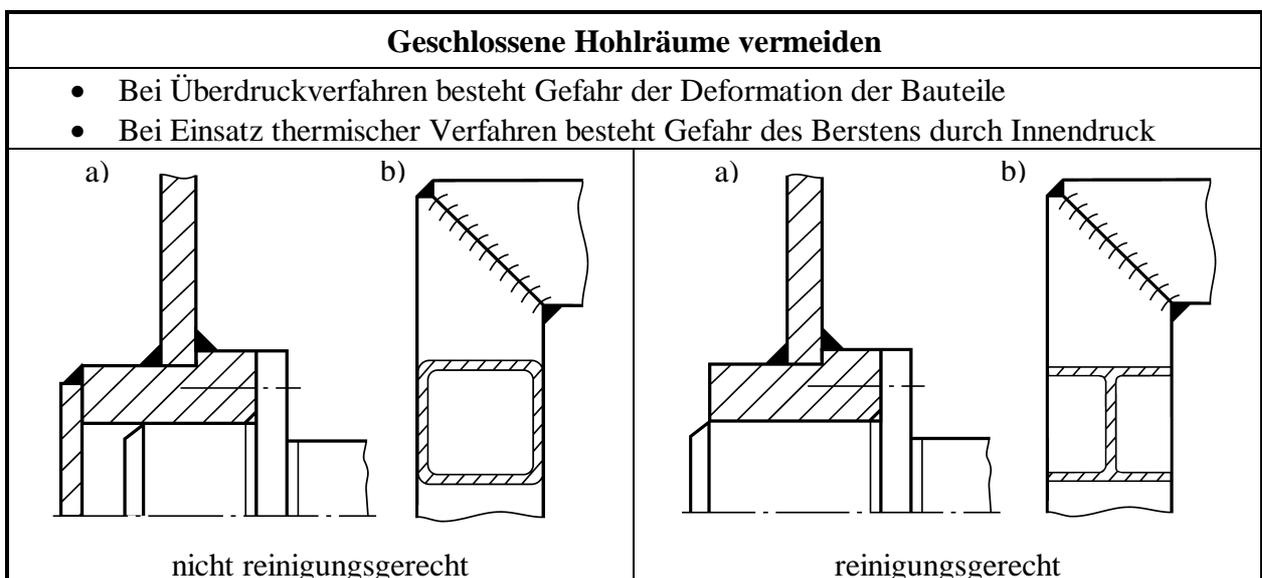


Bild 9.6 Gestaltungsregel 6

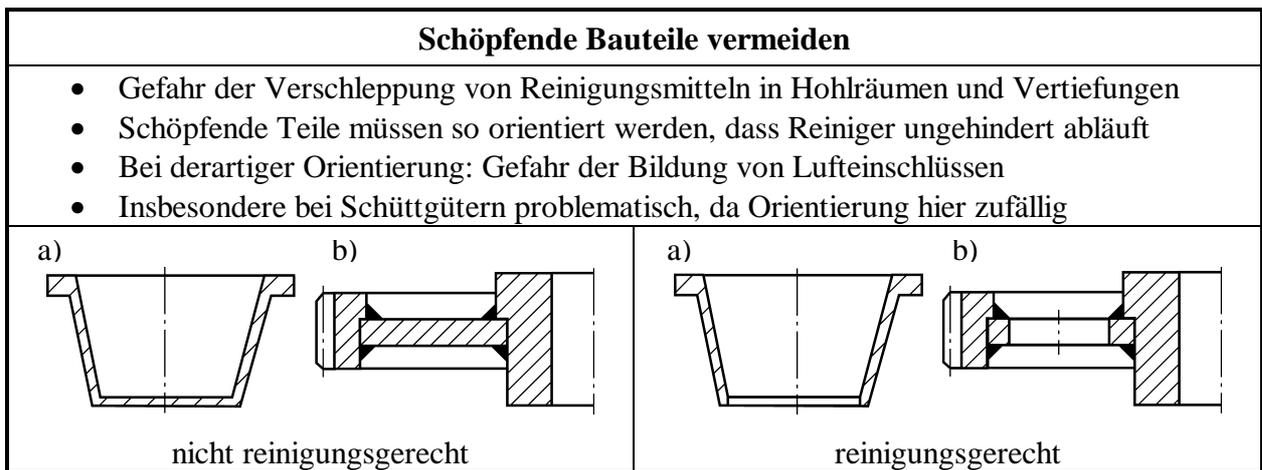


Bild 9.7 Gestaltungsregel 7

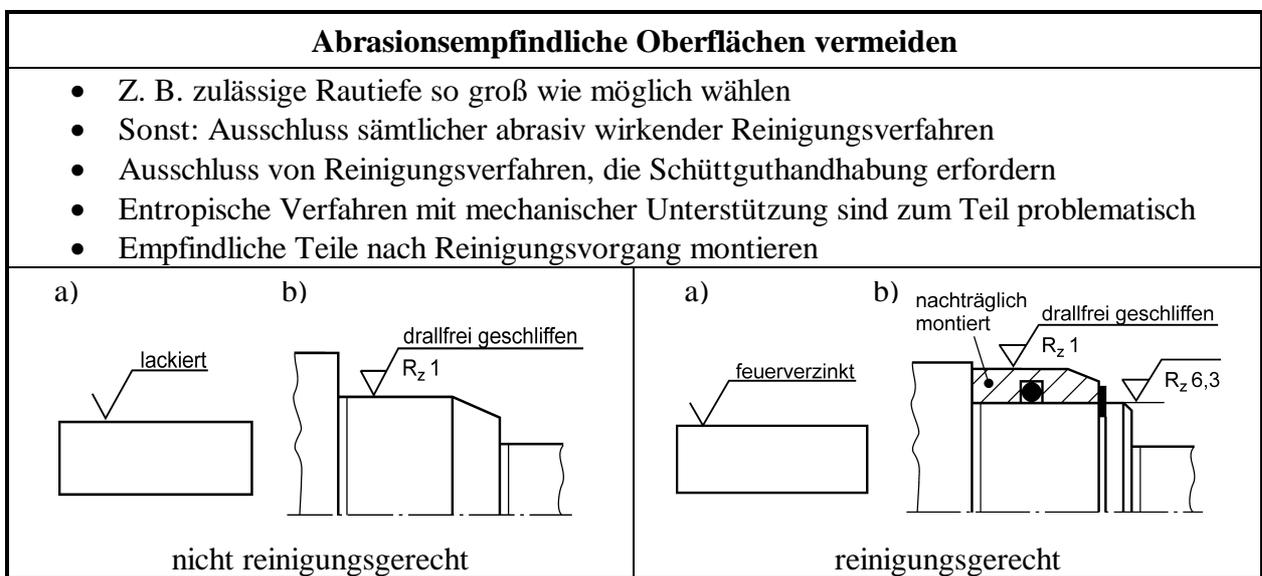


Bild 9.8 Gestaltungsregel 8

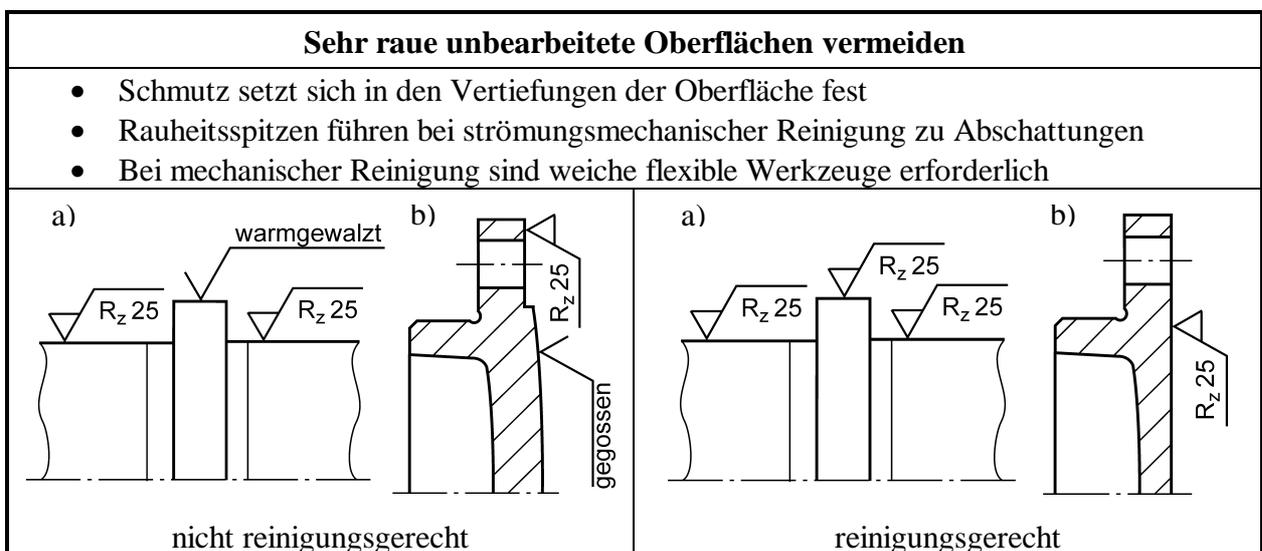


Bild 9.9 Gestaltungsregel 9

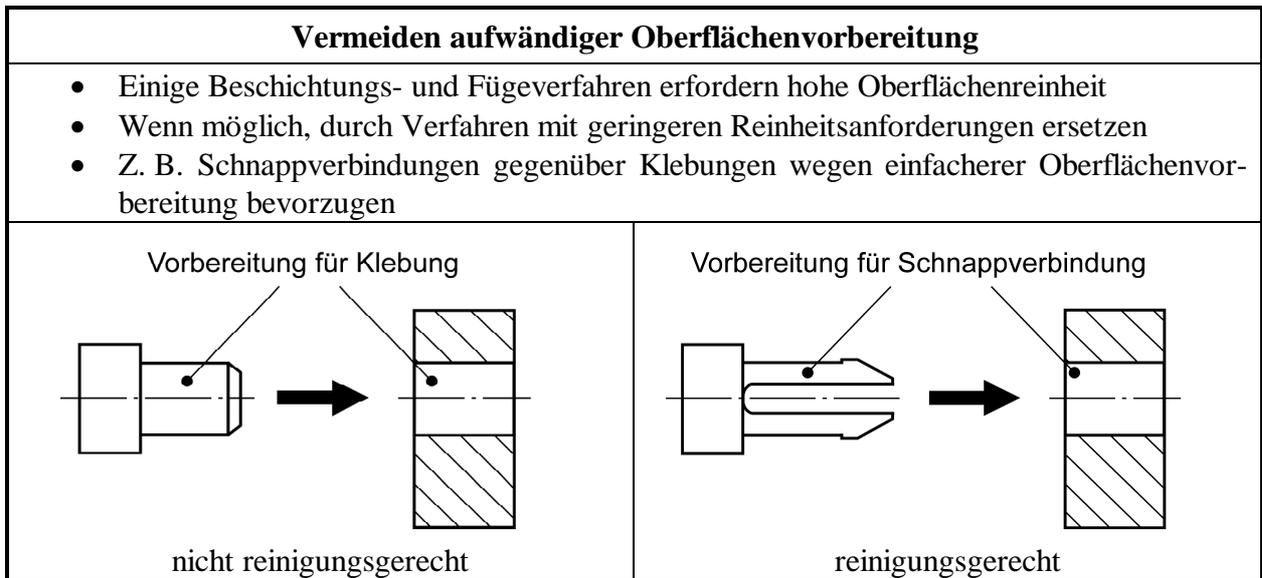


Bild 9.10 Gestaltungsregel 10

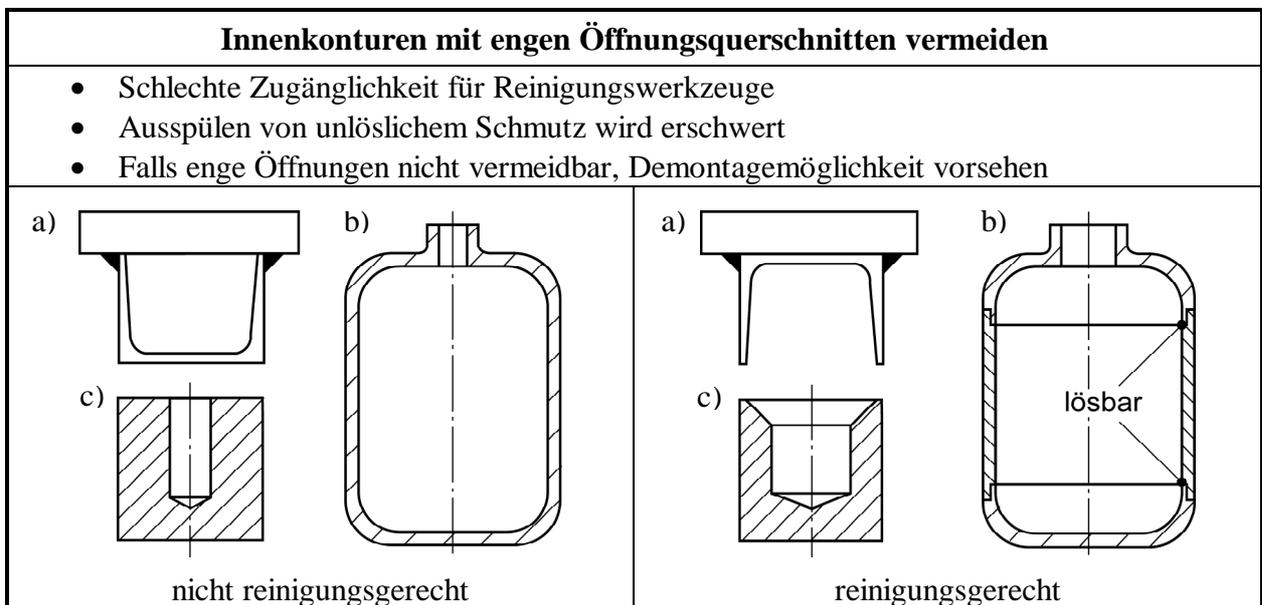


Bild 9.11 Gestaltungsregel 11

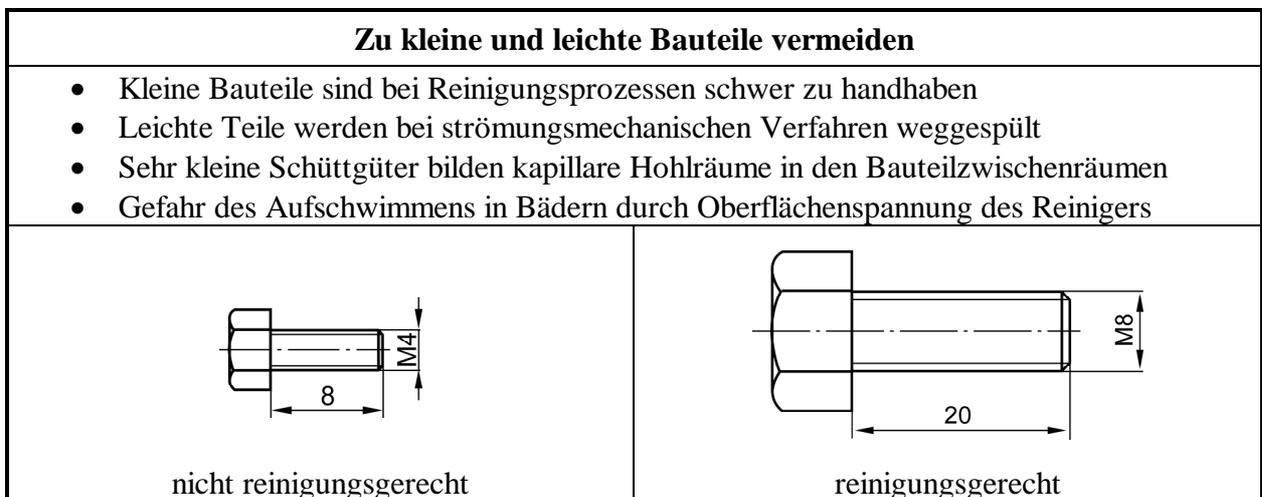


Bild 9.12 Gestaltungsregel 12

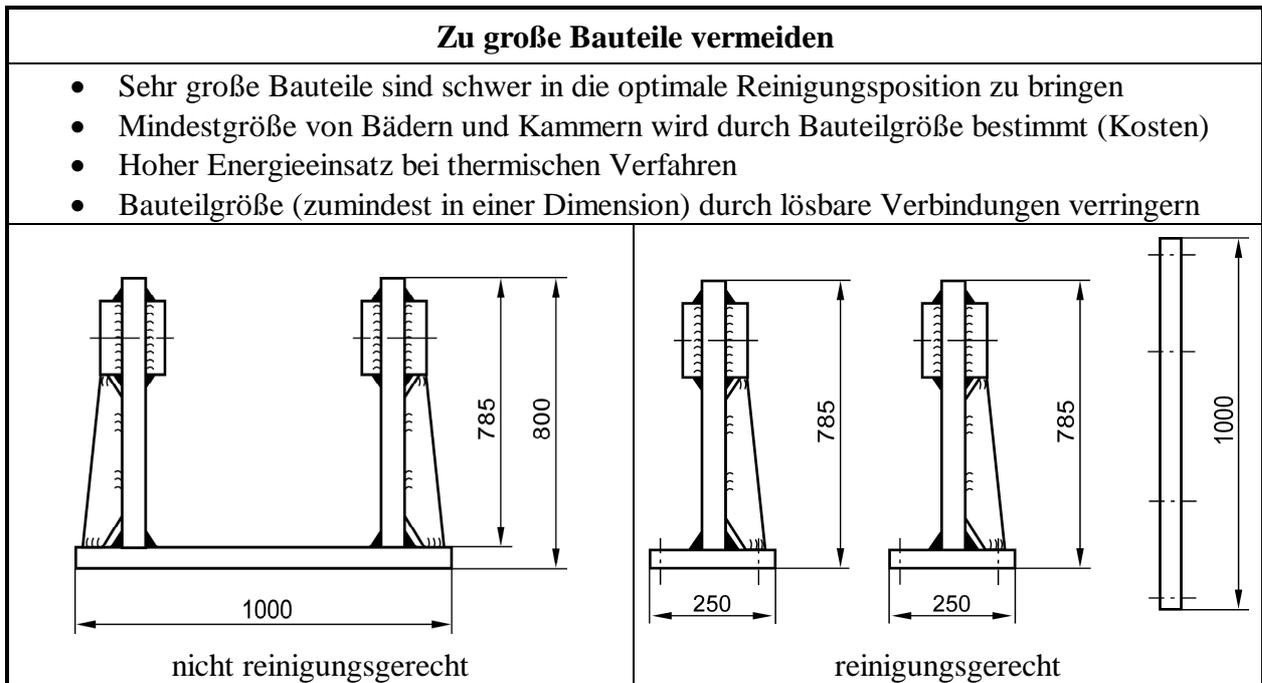


Bild 9.13 Gestaltungsregel 13

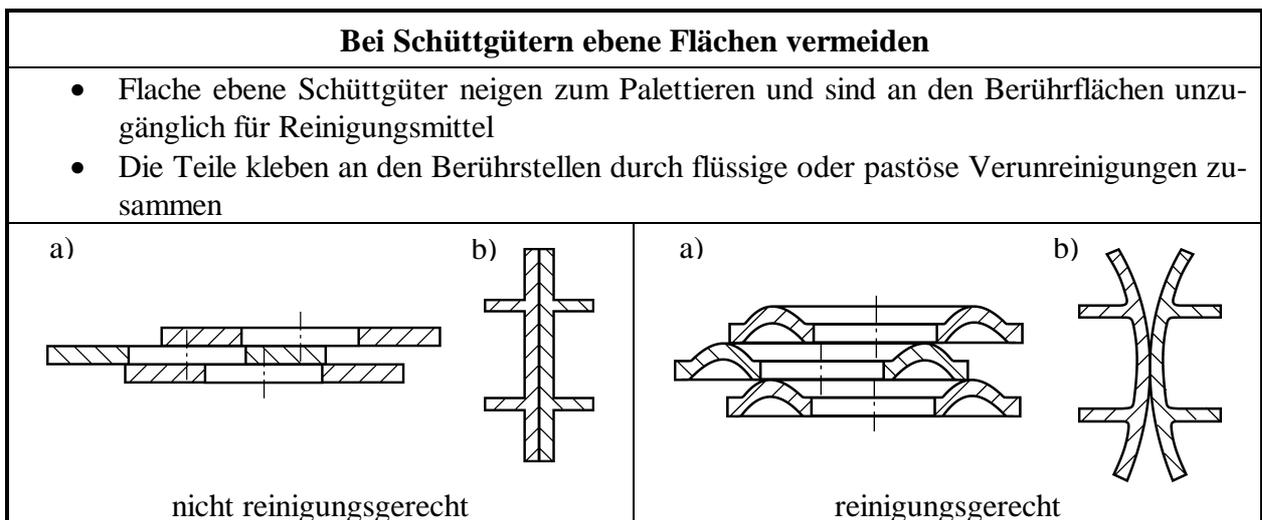


Bild 9.14 Gestaltungsregel 14

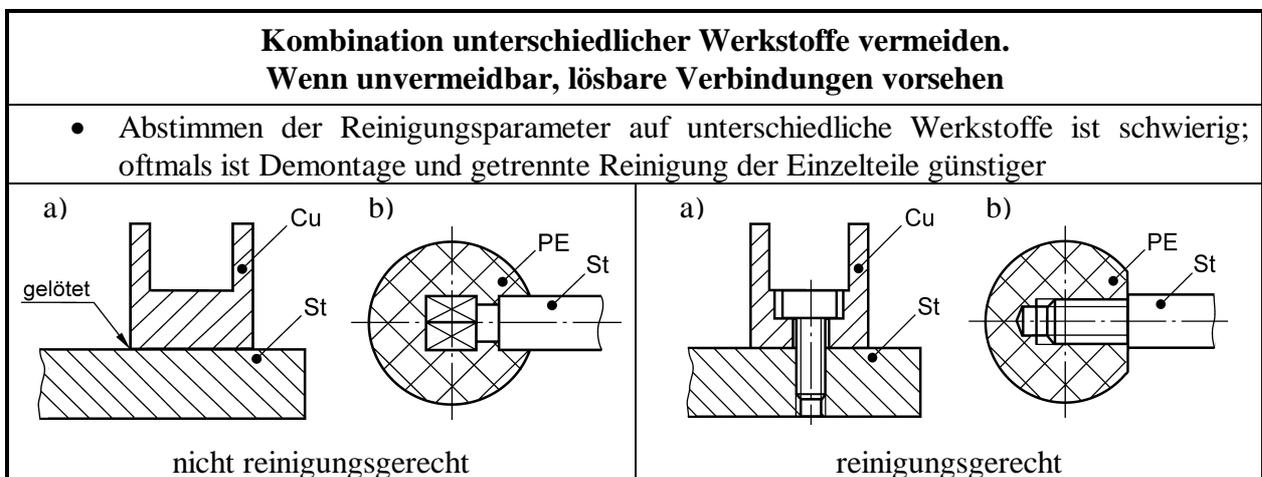


Bild 9.15 Gestaltungsregel 15

9.2 Leitregeln zur Werkstoffwahl

Der Werkstoff der zu reinigenden Bauteile hat einen großen Einfluss auf die Auslegung geeigneter Reinigungsprozesse. Die chemischen Eigenschaften des Bauteilwerkstoffes bestimmen maßgeblich die Verwendbarkeit der unterschiedlichen Reinigungsflüssigkeiten, und die physikalischen Werkstoffeigenschaften schränken die Wahl der einsetzbaren Reinigungsverfahren ein. Bei der Werkstoffwahl sollten daher in Hinsicht auf eine einfache Reinigung die Verträglichkeit mit möglichst vielen Reinigern und kleinstmögliche Einschränkungen bezüglich der einsetzbaren Reinigungsverfahren beachtet werden. Die wichtigsten Leitregeln für die reinigungsgerechte Werkstoffwahl sind in **Bild 9.16** zusammengestellt.

Auswahlregel	Schlecht-Beispiele	Gut-Beispiele
Korrosionsbeständige Werkstoffe vorziehen (Nach der Abreinigung der Passivschicht besteht erhöhte Korrosionsgefahr)	<ul style="list-style-type: none"> • Magnesium • Baustahl • Kupfer 	<ul style="list-style-type: none"> • Rostfreier Stahl • Kunststoff • Keramik
Säure-/laugeresistente Werkstoffe vorziehen (Alkalische und saure Reiniger sind meist wirkungsvoller als Neutralreiniger)	<ul style="list-style-type: none"> • Magnesium • Aluminium • Zink 	<ul style="list-style-type: none"> • Rostfreier Stahl • Keramik • Glas
Lösemittelbeständige Werkstoffe vorziehen (Lösemittel können nicht in jedem Einsatzfall durch wässrige Reiniger ersetzt werden)	<ul style="list-style-type: none"> • Polypropylen • Polystyrol • Magnesium 	<ul style="list-style-type: none"> • Polyamid • Bronze • Stahl
Hitzebeständige Werkstoffe vorziehen (Prozesstemperaturen entropischer Verfahren bis ca. 100 °C, thermischer Verfahren bis 750 °C)	<ul style="list-style-type: none"> • Gehärteter Stahl • Thermoplaste • Magnesium 	<ul style="list-style-type: none"> • Grauguss • Baustahl • Keramik
Poröse Werkstoffe vermeiden (kompliziert geformte und kapillar wirkende Hohlräume sind nur schwer zu reinigen)	<ul style="list-style-type: none"> • Sinterbronze • Schaumstoff • Keramik 	<ul style="list-style-type: none"> • Messing • Bronze • Stahl

Bild 9.16 Leitregeln zur Werkstoffwahl

In die Übersicht in **Bild 9.16** wurden lediglich diejenigen Regeln zur Werkstoffwahl aufgenommen, durch die große Einschränkungen hinsichtlich der einsetzbaren Reinigungsverfahren und -mittel vermieden werden können. Neben diesen allgemeinen Leitregeln können weitere abgeleitet werden, die jedoch nur in Einzelfällen greifen. Zum Beispiel können Kunststoffe, die zum Quellen neigen, Probleme bei dem Einsatz von wässrigen Reinigern bereiten. Eine elektrochemische Reinigung muss bei nicht leitfähigen Werkstoffen ausgeschlossen werden. Einige Kunststoffe neigen zur Gasaufnahme und Blasenbildung unter Überdruck und können daher nicht in flüssigem oder überkritischem CO₂ gereinigt werden. Kunststoffteile mit niedrigem spezifischem Gewicht schwimmen in Reinigungsbädern. Werkstoffe wie Polytetrafluorethylen (Teflon) wirken schmutzabweisend und sind sehr einfach zu reinigen. Derartige Spezialfälle in Leitregeln umzusetzen, scheint jedoch nicht sinnvoll, da bei der Werkstoffwahl andere Faktoren, wie die Festigkeit, Härte und Bearbeitbarkeit, im Vordergrund stehen. Eine Regel wie zum Beispiel "Nicht leitfähige Werkstoffe vermeiden" zielt lediglich auf die Einsetzbarkeit der elektrochemischen Reinigung ab und ist daher nicht praxisgerecht.

10 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein internetbasiertes Fachinformationssystem für die industrielle Bauteilreinigung entwickelt, welches eine gezielte Anwendung des hinterlegten Fachwissens auf spezifische Einsatzfälle erlaubt und dem Konstrukteur einfach zu handhabende Werkzeuge zur Verfügung stellt, die ihn bei der Planung und Konzeption von Reinigungsanlagen unterstützen. Das System ist unter der World-Wide-Web-Adresse "www.bauteilreinigung.de" öffentlich zugänglich.

Als Einstieg in diese Arbeit wurde eine umfangreiche Recherche zu dem Themengebiet der Bauteilreinigung durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass zwar eine kaum zu überschauende Menge an Informationen zu einzelnen Reinigungsverfahren, Reinigungsmitteln, Anlagen oder konkreten Einsatzfällen abrufbar ist, im Hinblick auf die Wahl eines geeigneten Reinigungsprozesses für eine gegebene Aufgabenstellung jedoch kaum Ansätze zu finden sind. Erschwerend kommt hinzu, dass die Fachinformationen bislang weitgehend unstrukturiert vorliegen.

Für den Planer einer Reinigungsanlage, welcher nicht über ein hohes Maß an Fachwissen aus dem Bereich der industriellen Bauteilreinigung verfügt, besteht bereits ein erhebliches Problem darin, eine vollständige und lösungsneutrale Anforderungsliste zu formulieren. In Kapitel 4 wird daher ein Anforderungsprofil für Reinigungsanlagen vorgeschlagen, welches alle zur Grobauslegung einer Reinigungsanlage relevanten Daten erfasst. Um eine sinnvolle Quantifizierung der Anforderungen zu gewährleisten, werden in den einzelnen Anforderungskategorien Klassen vorgegeben. Die Klasseneinteilung ist so gewählt, dass auch für den Nicht-Experten mit wenig Aufwand eine Eingruppierung seiner Reinigungsaufgabe möglich wird. Das Anforderungsprofil kann als Grundlage zur Erstellung einer Anforderungsliste dienen.

Ausgehend von der Anforderungsliste wird in der nachfolgenden Konzeptphase eine prinzipielle Lösung erarbeitet. Dabei stellt die Realisierung der Teilfunktion "Reinigen" ein zentrales Problem dar. In Kapitel 5 wird ein Ordnungsschema für das Reinigen vorgestellt, in welchem eine Strukturierung sämtlicher derzeit in der industriellen Praxis eingesetzten Reinigungsverfahren entsprechend dem vorherrschenden Wirkprinzip erfolgt. Dabei werden 43 Varianten voneinander abgegrenzt. Im Bereich der Reinigungsmittel werden acht Gruppen mit grundlegend verschiedenen Eigenschaften und Einsatzgebieten unterschieden. Der Einsatz des Ordnungsschemas hilft dem Konstrukteur, schnell und ohne aufwändige Recherchen einen Überblick über die Möglichkeiten der industriellen Bauteilreinigung zu gewinnen.

Aufgrund der großen Anzahl möglicher Reinigungsprozesse ist eine Vorauswahl der weiter zu verfolgenden Varianten zu treffen. Dabei ist ein hohes Maß an Expertenwissen aus dem Bereich der Reinigungstechnik erforderlich. In Kapitel 6 wird ein rechnergestütztes Vorbewertungssystem dargestellt, welches die einzelnen Reinigungsverfahren und -mittel im Hinblick auf konkrete Aufgabenstellungen bewertet und dem Konstrukteur so eine Entscheidungsgrundlage für die Vorauswahl liefert. Zunächst wird ein auf dem in Kapitel 4 entwickelten Anforderungsprofil basierender Online-Fragebogen erstellt. In diesem Fragebogen sind die einzelnen Anforderungsklassen als Auswahlmöglichkeiten vorgegeben, so dass Reinigungsaufgaben auf einfache Art und Weise erfasst und softwaretechnisch verwertbar gemacht werden können. Im nächsten Schritt werden Leitregeln für die Bewertung der Eignung sämtlicher Wirkprinzipien des in Kapitel 5 erarbeiteten Ordnungsschemas für die Teilfunktion "Reinigen" in Abhängigkeit von den im Online-Fragebogen spezifizierten Anforderungsklassen abgeleitet. Die Bewertung fußt dabei auf nachvollziehbaren und wissenschaftlich begründbaren Kriterien, um sicherzustellen, dass nicht nur diejenigen Verfahren vorgeschlagen werden, die üblicherweise in derartigen Fällen zum Einsatz kommen, sondern dass auch neu entwickelte Verfahren mit noch geringer Verbreitung berücksichtigt werden. Bei

der Präsentation der Bewertungsergebnisse wird besonderes Augenmerk auf eine übersichtliche und informative Darstellung gelegt, um sowohl eine strukturierte Übersicht zu bieten als auch über die der Bewertung zugrunde liegenden Regeln zu informieren. Mit dem Vorbewertungssystem wird dem Konstrukteur ein einfach zu handhabendes Werkzeug zur gezielten Anwendung des Fachwissens aus dem Bereich der Bauteilreinigung zur aufgabenspezifischen Vorauswahl geeigneter Reinigungsprinzipien an die Hand gegeben.

Eine Feinbewertung der verbliebenen Lösungsvarianten ist nur für den konkreten Einzelfall möglich und erfordert ein hohes Maß an Fachwissen hinsichtlich der einzusetzenden Reinigungsverfahren. In Kapitel 7 wird eine umfangreiche Wissensbasis vorgestellt, welche eine vertiefende Recherche zulässt und dem Konstrukteur konkrete Hilfestellung bei der Prozessauslegung und Anlagengestaltung gibt. Die Wissensbasis ist in drei Hauptbereiche gegliedert. Der erste Bereich beschäftigt sich mit den Grundlagen der industriellen Bauteilreinigung. Im zweiten Bereich werden die einzelnen Reinigungsverfahren ausführlich beschrieben. Der dritte Bereich beschäftigt sich mit den Reinigungsmitteln, den der Reinigung nachgeschalteten Prozessschritten des Spülens und Trocknens sowie den Möglichkeiten der Reinigeraufbereitung und Entsorgung. Als Hilfe bei der Grobauslegung einer Reinigungsanlage werden, wo dies möglich ist, Berechnungsgrundlagen zu den unterschiedlichen Reinigungsprozessen vorgeschlagen und in Form einfach zu handhabender Auslegungshilfen in die Wissensbasis aufgenommen.

Da gerade in kleinen und mittelständischen Unternehmen Reinigungsanlagen oftmals nicht selbst konstruiert, sondern von Fremdanbietern zugekauft werden, wird in Kapitel 8 eine Anbieterdatenbank erarbeitet, die eine gezielte Vermittlung von Kontakten zwischen Anbietern von Reinigungsanlagen, Reinigungsmitteln, Zubehörteilen oder Dienstleistungen und deren potentiellen Kunden ermöglicht. Die Anbieter können mit Hilfe vorgefertigter Online-Formulare ihr Firmenprofil in der Datenbank hinterlegen, wobei die Angabe der jeweiligen Kompetenzfelder bzw. Produktspektren eine fallbezogene Anbietersuche ermöglicht.

Bei der Planung einer Reinigungsanlage wird bislang von bestehenden Bauteilen ausgegangen, welche zur Durchführung nachfolgender Prozessschritte gereinigt werden müssen. Die Reinigung stellt insbesondere bei Werkstücken mit komplizierten Geometrien und hohen Reinheitsanforderungen einen erheblichen Kostenfaktor dar. Gelingt es, die spezifischen Erfordernisse der Reinigung bereits bei der Konstruktion der Bauteile zu berücksichtigen, können zum Teil erhebliche Einsparungen erzielt werden. In Kapitel 9 werden aus diesem Grund Leitregeln für die reinigungsgerechte Bauteilgestaltung abgeleitet, welche dem Konstrukteur helfen sollen, bereits im frühen Stadium der Produktentstehung potentielle Schwierigkeiten hinsichtlich der späteren Reinigung zu erkennen und zu vermeiden.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte internetbasierte Fachinformationssystem stellt ein einfach zu handhabendes Hilfsmittel für die Planung und Konzeption von Reinigungsanlagen dar. Der im Bereich der Reinigungstechnik unerfahrene Anwender wird schrittweise durch das System geleitet, erhält gezielt diejenigen Informationen, die er zur Lösung seines konkreten Problems benötigt, und kann, bei Bedarf, kompetente Ansprechpartner ermitteln. Dem Konstrukteur werden wertvolle Hilfsmittel an die Hand gegeben, die ein konstruktionsmethodisches Vorgehen bei der Anlagenplanung und -konzeption unterstützen.

Literaturverzeichnis

- /ago95/ J. W. Agopovich
Fluorocarbons and Supercritical Carbon Dioxide Serve Niche Needs
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Februar 1995, S. 15-26
- /ayr94/ S. Ayres
Centrifugal Parts Washing Harnesses Natural Forces
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Oktober 1994, S. 21-23
- /bei90/ H.-M. Beier
Industrielles Entgraten
Verlag Technik, 1990
- /bei99/ H.-M. Beier
Handbuch Entgratetechnik
Hanser-Verlag, 1999
- /bha98/ H. A. Bhatt
How Now?
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Mai 1998, S. 17-21
- /biv97/ E. A. Bivins, S. B. Hayes
Wax and Pitch Compound Removal: Refining the New, Revisiting the Old
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Dezember 1997, S. 11-15
- /böh95a/ C. Böhle
Dampfentfettung mit AIII-Lösemitteln in der Praxis
Konferenz-Einzelbericht Schriftenreihe Praxis-Forum, Serie Oberflächentechnik,
Band 9/95 (1995), Seite 183-191, Berlin: Technik + Kommunikation
- /böh95b/ C. Böhle
Feinstreinigen in der Elektronikfertigung
Metalloberfläche Band 49 (1995) Heft 11, S. 840-841
- /böh96a/ C. Böhle
Wäßrige Reinigung in der Hochvakuumtechnik
Metalloberfläche Band 50 (1996) Heft 10, S. 776-778
- /böh96b/ C. Böhle, R. Schwab
Mehr Prozeßsicherheit durch Reinigung mit Kohlenwasserstoffen
Sonderdruck aus JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 36 (1996) Heft 4
- /boh97/ D. Bohnes, K.-H. Eberhard
Staub und Schmutz wie weggeblasen
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 11, S. 42-44
- /boo97/ J. A. Boomis
Having a Blast
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, September 1997, S. 10-13
- /bra75/ H. U. Brauner, F. Schäfer, H.-J. Warnecke
Entgraten – Theorie, Verfahren, Anlagen
Krausskopf-Verlag, 1975
- /bre99/ R. Bretschneider
Entzundern von Warmband
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 10, S. 60-62

- /büc00/ E. Büchter
Lackabtrag mit Festkörperlaser rechnet sich
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 40 (2000) Heft 3, S. 110-116
- /bur91/ W. Burkart
Handbuch für das Schleifen und Polieren
Eugen G. Leuze Verlag, 1991
- /cap93/ J. Caps
Chemisch oder thermisch Entlacken?
Metalloberfläche, Band 47 (1993) Heft 8, S. 392-395
- /cat00a/ A. Catalano
Tech Spotlight – CO₂ Cleaning Methods
The Magazine of Critical Cleaning Technology, März 2000, S. 34-35
- /cat00b/ A. Catalano
Tech Spotlight - Wipers and Aerosols
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, April 2000, S. 34-35
- /cat99a/ A. Catalano
Tech Spotlight – Blast Cleaning
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, September 1999, S. 36-37
- /cat99b/ A. Catalano
Tech Spotlight - Pumps
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, November 1999, S. 30-31
- /chi94/ W. Chiarella
Options and Considerations for System Selection
The Magazine of Critical Cleaning Technology, März 1994, S. 19-25
- /chr98/ K. K. Christenson, S. M. Smith
Solution Study Optimizes Integrated Circuit Cleaning
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Juli 1998, S. 20-30
- /cli96/ C. M. Cline
Emerging Technology; Emerging Markets
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Oktober 1996, S. 11-19
- /col94/ K. Colbert
Finding Better and Safer Ways to Clean and Depaint Critical Components
Metal Finishing, Band 94 (1996) Heft 4, S. 53–56
- /dah98/ N. Dahmen, J. Schön, H. Schmieder
Reinigen mit komprimiertem Kohlendioxid
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 5, S. 56-57
- /dar96/ C. H. Darvin, E. A. Hill
Demonstration of Liquid CO₂ as an Alternative for Metal Parts Cleaning
The Magazine of Critical Cleaning Technology, September 1996, S. 25-31
- /dar98/ C. H. Darvin, R. B. Lienhart
Surfactant Solutions Advance Liquid CO₂ Cleaning Potentials
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Februar 1998, S. 25-27

- /det63/ H. W. Dettner, J. Elze, E. Raub
Handbuch der Galvanotechnik
Carl Hanser Verlag, 1963
- /dil98/ G. Dillingham, G. Winter
Plasma Processing: Extending the Dimensions of 'Clean'
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Dezember 1998, S. 10-15
- /eck99/ T. Eckardt, H. Specht
Welches Reinigungssystem ist das Richtige?
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 3, S. 20-24
- /eng95/ A. C. Engelsberg
Laser-Assisted Cleaning Proves Promising
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Mai 1995, S. 35-42
- /eng98/ A. C. Engelsberg
Laser-Assisted Cleaning Leaves the Laboratory
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Mai 1998, S. 39-48
- /fall00/ J. F. Falot
Reinigung von Kugellagern
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 40 (2000) Heft 1, S. 42-47
- /fit01/ D. Fitzpatrick Bethell
Laser Cleaning Beams in on Flat Panel Displays
Online-Artikeldatenbank des CleanTech and Parts Cleaning Magazine, 2001,
www.cleantechcentral.com
- /for99/ L. Forner
Reinigen mit Kohlenwasserstoffen – Stand der Technik und neue Trends
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 7, S. 38-41
- /frei90/ R. Freise (Hrsg.)
CKW, FCKW und Lösungsmittel, Optimierter Einsatz und Ersatz in der betriebli-
chen Praxis
Springer Verlag, 1990
- /fuc97/ F. J. Fuchs
Bursting Bubbles: Ultrasonic Cleaning Principles for Parts Cleaning Potentials
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Dezember 1997, S. 14-20
- /fuh99/ O. Fuhr, L. Lehmann
Pro CKW-Reinigung
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 3, S. 42-44
- /gal94/ J. A. Gale
An Aqueous Nonvolatile Residue Method For Cleanliness Verification
The Magazine of Critical Cleaning Technology, April 1994, S. 43-45
- /göl96/ D. Göller
Tafelfein sauber
Metalloberfläche, Band 50 (1996) Heft 4, S. 242-246
- /göp97/ B. Göpfert
Biologisches Entfettungsspülbad
Metalloberfläche, Band 51 (1997) Heft 10, S. 762-765

- /gri00/ W. Grimm
Betonreste automatisch abklopfen
Die Industrie der Steine + Erden, Heft 4, 2000
- /grü94a/ H. Grünwald, G. Stipan
Plasmareinigen und –vorbehandeln: Entwicklungsstand und Trends, Teil 1
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 9, S. 615-622
- /grü94b/ H. Grünwald, G. Stipan
Plasmareinigen und –vorbehandeln: Entwicklungsstand und Trends, Teil 2
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 10, S. 718-720
- /gus98/ R. Gustafson
One Fruity Formula
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, März 1998, S. 18-19
- /haa92/ B. Haase, K. Bauckhage; A. Schreiner
Gibt es eine Patentlösung für die betriebliche Reinigung von Metalloberflächen?
Härtereitechnische Mitteilungen, Band 47 (1992) Heft 2, S. 67-75
- /haa96/ B. Haase u. a.
Bauteilreinigung - Alternativen zum Einsatz von Halogenkohlenwasserstoffen
Expert Verlag, 1996
- /haa98a/ B. Haase, T. Haasner, M. Stiles
Überprüfung der Reinigungsqualität und Restschmutzbestimmung – Teil I
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 6, S. 66-71
- /haa98b/ B. Haase, T. Haasner, M. Stiles
Überprüfung der Reinigungsqualität und Restschmutzbestimmung – Teil II
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 7, S. 58-63
- /han97/ M. Hanek
Eine neue Reinigergeneration: Micro-Phase-Cleaning Technologie für die Elektronik- und Metallreinigung
Metalloberfläche, Band 51 (1997) Heft 11, S. 812-814
- /har01/ J. Harrington
Industrial Cleaning Technology
Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001
- /har97/ U. Hartmann, G. Glanz
Teileentlackung: Chemisch oder thermisch?
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 8, S. 44-45
- /has96/ J. Hasler
Wirtschaftliche Spülprozesse
Metalloberfläche, Band 50 (1996) Heft 10, S. 766-770
- /hef98/ U. Heffungs
Flexibles Konzept für die thermische Entlackung
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 10, S. 52-54
- /her00/ K. Hertlein u. a.
Reinigen mit Kohlenwasserstoff-Lösemitteln und Wasser im metallbearbeitenden Gewerbe, im Druck- und Elektronikbereich
Kontakt & Studium, Band 576, Expert Verlag, 2000

- /her95/ K. Hertlein u. a.
Reinigung mit Kohlenwasserstoffen und Wasser: Praxisbewährte Verfahren für die Metall-, Kunststoff-, Elektronik- und Textilbranche und weitere Anwender
Expert-Verlag, 1995
- /hil94/ E. A. Hill
Carbon Dioxide Snow Examination and Experimentation
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Februar 1994, S. 36-39
- /hin80/ H. E. Hinz
Gleitschleifen: Grundlagen, Maschinen, Chips, Compound, Analysen, Abwasser, Kostenrechnungen
Expert-Verlag, 1980
- /ise98/ T. Isenburg
Effektiv reinigen im Rundtaktautomat
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 11, S. 50-51
- /jac99a/ D. Jackson, B. Carver
Liquid CO₂ Immersion Cleaning: The User's Point of View
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, April 1999, S. 32-37
- /jac99b/ D. Jackson, B. Carver
Today's Forecast: It Looks Like Snow . . .
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Mai 1999, S. 16-29
- /jam93/ E. Jamin
Fliehkraftschleifen: Kosten bei der Oberflächenbehandlung von Massenteilen reduzieren
Metalloberfläche, Band 47 (1993) Heft 10, S. 506-508
- /jel99/ T. W. Jelinek (Hrsg.)
Reinigen und Entfetten in der Metallindustrie
Eugen G. Leuze Verlag, 1999
- /jet99/ J. Jetter
Entlacken mit gepulster Laserstrahlung – Stand der Technik
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 1, S. 42-43
- /jon98/ M. Jones , J. Tourigny
Finding the Right Chemistry: New Solvent Options for Vapor-Phase Cleaning
The Magazine of Critical Cleaning Technology, November 1998, S. 15-21
- /kan01/ B. Kanegsberg u. a.
Handbook for Critical Cleaning
CRC Press, 2001
- /ker93/ W. Kern (Hrsg.)
Handbook of semiconductor wafer cleaning technology. Science, Technology & Applications
Noyes Publications, 1993
- /kir80/ W. Kirst
Das Entlacken in der Wirbelschicht
Industrie Lackierbetrieb, Band 48 (1980) Heft 5, S. 165-169

- /klo01/ U. Kloke, B. Künne
Reinigen von Kleinstteilen – Eine anspruchsvolle Aufgabe
JOT – Journal für Oberflächentechnik, Band 41 (2001) Heft 5, S. 56-58
- /klo02a/ U. Kloke, B. Künne
Informationssystem für die industrielle Teilereinigung
JOT – Journal für Oberflächentechnik, Band 42 (2002) Heft 7, S. 6
- /klo02b/ U. Kloke, B. Künne
Qual der Wahl - Auswahlsystem für die Teilereinigung
JOT – Journal für Oberflächentechnik, Band 42 (2002) Heft 8, S. 14-17
- /klo02c/ U. Kloke, B. Künne
Wie wird mein Bauteil sauber?
MaschinenMarkt - Das Industriemagazin, Heft 35, 2002, S. 24-26
- /kol98/ R. Koller
Konstruktionslehre für den Maschinenbau - Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen
Vierte Auflage, Springer Verlag, 1998
- /kor95/ D. Korzec, R. Winter, J. Engemann
Entfettung von Bauteilen in großvolumigen Mikrowellen-Plasmaanlagen
Oberflächentechnik, Band 86 (1995) Heft 9, S. 2928-2933
- /kre98/ N. Kreiter
Best Foot Forward: Ultrasonics Goes To Work
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Februar 1998, S. 9
- /kuc94/ J. Kuckelmann
Schleuderstrahlen statt Säurebad
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 8, S. 548-550
- /kün01/ B. Künne
Einführung in die Maschinenelemente, Gestaltung, Berechnung, Konstruktion
2. überarbeitete Auflage, Teubner Verlag, 2001
- /kun92/ P. Kunz
Umwelt-Bio-Verfahrenstechnik
Vieweg-Verlag, 1992
- /kut88/ H. Kuttruff
Physik und Technik des Ultraschalls
S. Hirzel Verlag, 1988
- /lac94/ U. Lachenmayer, H. Krempelhuber
Auswahl und Bewertung von Verfahrenskonzepten mit der statistischen Versuchsmethodik
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 5, S. 300-306
- /läm95/ H. Lämmermann, H. Weisweiler
Neues und umweltfreundliches Entölungsverfahren durch Niederdruck-Verdampfung
Vakuum in Forschung und Praxis, Heft 4, 1995, S. 269-274

- /lei95a/ A. Leisewitz, W. Schwarz
CKW, KW oder wäßrig. Ein Umweltvergleich, Teil I
Metalloberfläche, Band 49 (1995) Heft 1, S.12-14
- /lei95b/ A. Leisewitz, W. Schwarz
Recycling und Ersatz chlorhaltiger Lösemittel in der Metallindustrie:
Potential und Grenzen.
UTECH Berlin 1995, 3. Seminar 13.-14.Februar 1995: Perspektiven der Chlor-
chemie, S. 141-153
- /lei95c/ A. Leisewitz, W. Schwarz
Lösemittelemissionen aus Reinigungsanlagen
Metalloberfläche, Band 54 (2000) Heft 6, S. 21-24
- /leß98/ K. Leßmann
Präzisionsreiniger für Metall-, Elektronik- und Optikanwendungen
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 3, S. 22-24
- /leu98/ J. Leudolph, H. J. Sommer
Grundsätzliches zur wässrigen Teilereinigung
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 4, S. 80-84
- /lin98/ D. R. Linger
Dry Ice Blasting Basics
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Januar 1998, S. 9-14
- /lot99/ R. Lotze, J. Birkel, K. Wissenbach
Entlacken mit Laserstrahlung – Neue industrielle Anwendungen
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 8, S. 44-48
- /luh99/ J. Luhede
Zur Reinigung von metallischen Bauteilen mit Kohlenwasserstoff-Lösemitteln und
Wasser
Dissertation Universität Bremen, 1999
- /mai94/ K. Mainord
Cleaning with Heat: Old Technology with a Bright New Future
The Magazine of Critical Cleaning Technology, September 1994, S. 37-43
- /mal97/ J. Malloy
Molten Salts: A Different Class of Metal Cleaning
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Juli 1997, S. 21-23
- /mal98/ J. Malloy
A Salty Solution to Paint Stripping
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, August 1998, S. 14-18
- /man97/ C. Manz, V. Zafirooulos
Laserentlackung – Stand der Entwicklung
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 3, S. 28-34
- /mat62/ J. Matauschek
Einführung in die Ultraschalltechnik
2. Auflage, VEB Verlag Technik, 1962

- /mat96/ D. Mattox
Understanding and Using Plasma to Expedite Cleaning Processes
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Juni 1996, S. 11-14
- /mch98/ J. McHardy, S. P. Sawan
Supercritical Fluid Cleaning - Fundamentals, Technology and Applications
Noyes Publications, 1998
- /mck97/ D. McKinstry
One Company's Approach to Semiconductor Equipment Parts Cleaning: CO₂
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Februar 1997, S. 24-25
- /mcn99/ T. W. McNally
It's Alive! Letting Microbes Do the Dirty Work
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Mai 1999, S. 20-27
- /mil99/ R. M. Miller
Transient Beams: Portable Laser Systems for Cleaning and Coatings Removal
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Juli 1999, S. 16-25
- /min91/ D. Minkwitz
Ersatzstoffe für Halogenkohlenwasserstoffe bei der Entfettung und Reinigung in
industriellen Prozessen
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1991
- /mit99/ M. Mitschele
Noch höhere Standzeiten und niedrigere Restschmutzgehalte
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 12, S. 58-63
- /mög95/ A. Möbius
Entfetten und Spülen mit geringerem Chemikalieneinsatz
Metalloberfläche, Band 49 (1995) Heft 9, S. 650-652
- /mög96/ A. Möbius
Reinigen mit Hochdruck-Flüssigkeitsstrahlen
Metalloberfläche, Band 50 (1996) Heft 4, S. 262
- /mof98/ T. Moffitt
Microbes in the Mix
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, September 1998, S. 29-33
- /mol97/ R. Mol
Ofen oder Wirbelbett?
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 4, S. 64-67
- /mom93/ A. W. Momber
Handbuch Druckwasserstrahl-Technik
1. Auflage, Beton Verlag GmbH, 1994
- /mom95/ A. W. Momber
Environmental applications of high-pressure waterjet technique – preliminary re-
sults
Journal of Jet Flow Engineering, Band 12 (1995) Heft 2, S. 46-53
- /mom96/ A. W. Momber
Entschichten mit Hochdruck-Wasserstrahlgeräten
MaschinenMarkt - Das Industriemagazin, Heft 21, 1996, S. 48-51

- /mom97/ A. W. Momber, C. van de Bogaerde
Entlacken mit Hochdruckwasserstrahl-Technik
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 4, S. 58-62
- /mül96/ K. P. Müller
Lehrbuch Oberflächentechnik
Viehweg Verlag, 1996
- /nei99/ H. Neise
Strahlentzundern von Gross- und Mittelformguss
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 5, S. 48-51
- /nie01/ G. Niemann
Maschinenelemente
Dritte Auflage, Springer Verlag, 2001
- /NN00a/ N. N.
US- Patentschrift, Veröffentlichungsnummer US6028316, 2000
- /NN00b/ N. N.
Hoher Durchsatz mit wenig Personal
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 40 (2000) Heft 6, S. 42
- /NN01a/ N. N.
Internetseite der Firma USF-Schlick, 2001
www.schlick.de
- /NN01b/ N. N.
Internetseite „Precision Cleaning Web“, 2001
Artikeldatenbank, CleanTech Magazine and Precision Cleaning Magazine
www.precisioncleaningweb.com
- /NN01c/ N. N.
Internetseite „Parts Cleaning Web“, 2001
Artikeldatenbank , The Magazine of Critical Cleaning Technology
www.partscleaningweb.com
- /NN01d/ N. N.
Internetseite „Sage: Solvent Alternatives Guide“, 2001
Wissensbasis für Bauteilreinigungsverfahren und Reinigungsmittel
<http://sage.rti.org>
- /NN01e/ N. N.
Internetseite „C-Act Applied Chemical Technologies Group“, 2001
Forschungsberichte und Artikel des „Los Alamos National Laboratory“
www.scrub.lanl.gov
- /NN01f/ N. N.
Internetseite der „United States Environmental Protection Agency“, 2001
Forschungsberichte und Artikel
www.epa.gov
- /NN01g/ N. N.
Internetseite "JOT - Journal für Oberflächentechnik", 2001
Artikeldatenbank des Journals für Oberflächentechnik
www.jot-oberflaeche.de

- /NN01h/ N. N.
Informationssysteme zum Kleben und Dichten
Internetseite der IFF GmbH, 2001
www.gluedo.de
- /NN01i/ N. N.
Internetseite "Berliner Kreis Kompetenz Netzwerk"
Berliner Kreis, wissenschaftliches Forum für Produktentwicklung e. V., 2001
www.bkkn.de
- /NN01j/ N. N.
Auswahlhilfe für die Wahl eines Kühlers
Internetseite der Euro Cold Cooling System GmbH, 2001
www.eurocold.net/Deutsch/Auswahlhilfe.htm
- /NN01k/ N. N.
Interaktiver Lagerungskatalog der Firma SKF, 2001
<http://skfiec.skf.com/3d.htm>
- /NN01l/ N. N.
Internetseite "GalvaOnline: Der Informations-Service für die Galvanotechnik"
Informationssystem für die Galvanotechnik, 2001
www.galvaonline.com
- /NN01m/ N. N.
Internetpräsentation und interaktiver Produktkatalog der Firma FAG, 2001
www.fag.de
- /NN01n/ N. N.
Internetseite der Firma Wilhelm Sihn JR. KG, 2001
Auswahlhilfe und Produktübersicht für Antennen
www.wisi.de
- /NN01o/ N. N.
Internetseite der BauNet Informationsgesellschaft mbH, 2001
Informationssystem der deutschen Bauwirtschaft
www.baunet.de
- /NN01p/ N. N.
Internetseite "VOFAPro – Bulletin"
Online-Informationen der Kooperationsstelle Hamburg, 2001
www.rrz.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh
- /NN01q/ N. N.
Internetseite "Lösemittelersatz – Chancen für gesündere Luft!"
Online-Informationen der IG-Metall Küste, 2001
www.loesemittelersatz.de
- /NN02a/ N. N.
Internetseite der Deutschen Gesellschaft für Oberflächentechnik e. V., 2001
www.dgo-online.de
- /NN02b/ N. N.
Internetseite der Firma vibro-tec GmbH, 2002
www.vibro-tec.de

- /NN02c/ N. N.
Internetseite der Firma cleanso-tec, 2002
www.cleanso-tec.ch
- /NN02d/ N. N.
Internetseite der Firma EKOTEC Gusstechnik GmbH, 2002
www.ekotec.de
- /NN02e/ N. N.
Internetseite „CleanTechCentral“, 2002
Online-Informationen zum Thema Bauteilreinigung, Zusammenschluss der beiden
Seiten "www.partscleaningweb.com" und "www.precisioncleaningweb.com"
www.CleanTechCentral.com
- /NN02f/ N. N.
Internetseite des Fachinformationszentrums Technik, 2002
www.fiz-technik.de
- /NN02g/ N. N.
Internetseite des Fachinformationszentrums Karlsruhe, 2002
www.fiz-karlsruhe.de
- /NN02h/ N. N.
Internetseite des Fachinformationszentrums Chemie, 2002
www.fiz-chemie.de
- /NN02i/ N. N.
Internetseite der Firma Esska Maschinen Vertriebs GmbH, 2002
www.esska.de
- /NN02j/ N. N.
Internetseite der Firma TIGRES Dr. Gerstenberg GmbH, 2002
www.tigres.de
- /NN02k/ N. N.
Internetseite "Moeller Engineering Tools"
Auswahlhilfen und Berechnungstools der Firma Möller, 2002
www.moeller.net/de/systems/engineering_tools/
- /NN02l/ N. N.
Internetbasierte Lösemittel-Datenbank "SOLV-DB"
NCMS - National Center for Manufacturing Sciences, 2002
<http://solvdb.ncms.org/>
- /NN90/ N. N.
Halogenated Solvent Cleaners: Emission Control Technologies and Cost Analyses
Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A., 1990
- /NN94/ N. N.
Umweltfreundliche Teilereinigung in der Dampfzone
Sonderdruck aus JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 34 (1994) Heft 8
- /NN96a/ N. N.
Choosing a Cleaning Process
ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, ASM International, 1996

- /NN96b/ N. N.
Guide to Vapor Degreasing and Solvent Cold Cleaning
ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, ASM International, 1996
- /NN96c/ N. N.
Guide to Mechanical Cleaning Systems
ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, ASM International, 1996
- /NN96d/ N. N.
Guide to Pickling and Descaling, and Molten Salt Bath Cleaning
ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, ASM International, 1996
- /NN96e/ N. N.
Dampfentfetten Umweltschonend
Sonderdruck aus Oberflächen Werkstoffe, Nr. 1-2/96, 1996
- /NN97a/ N. N.
Mobil und berührungslos reinigen
Laser-Praxis, Juni 1997, S.47
- /NN97b/ N. N.
US-Patentschrift, Veröffentlichungsnummer US5613509, 1997
- /NN97c/ N. N.
Guide to Acid, Alkaline, Emulsion, and Ultrasonic Cleaning
ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering, ASM International, 1997
- /NN98a/ N. N.
Ganzheitliche Bilanzierung/Bewertung von Reinigungs-
/Vorbehandlungstechnologien in der Oberflächenbehandlung
BMBF-Forschungsbericht, Jena, 1998
- /NN98b/ N. N.
Entlacken: Von der Abbeizpaste bis zur Hochdruckentlackung
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 6, S. 22
- /NN98c/ N. N.
Schritt für Schritt zum Schnellfarbwechsel
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 4, S. 16-22
- /NN99a/ N. N.
Internetseite "Pollution Prevention Research Projects Database"
Online-Veröffentlichungen u. a. zum Thema Bauteilreinigung, 1999
www.pprc.org/pprc/p2tech/common96/reslist.html
- /NN99b/ N. N.
Trockeneispellets für Luxus-Liner
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 5, S. 52-54
- /NN99c/ N. N.
Going Through Phases: A Panel Discussion of CO₂ Cleaning Technology
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Juli 1999, S. 26-32
- /NN99d/ N. N.
Laser in der Oberflächenbearbeitung
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 7, S. 44-50

- /nou94/ S. M. Nourie
Soap and Water: Simple Solutions for Aqueous Cleaning
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Sept. 1994, S. 13-19
- /obe99/ T. Oberauer
KW-Reinigung bei großen Chargen und komplizierten Teilen
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 6, S. 46-49
- /oer98/ H. ten Oever
Motorblock-Strahlanlage für Skoda
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 9, S. 72
- /pah97/ G. Pahl, W. Beitz
Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung
4. Auflage, Springer Verlag, 1997
- /pet97/ D. Peterson
Practical Guide to Industrial Metal Cleaning
Hanser Gardner Publications, 1997
- /pir94/ R. Pirrotta, T. Pava
Supercritical Carbon Dioxide - Performance with Potential
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Oktober 1994, S. 37-41
- /prü94/ H. Prüller
Schleppscheifen: Ein Hochleistungs-Gleitschleifverfahren
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 8, S. 540-542
- /prz87/ K. Przyklenk, M. Schlatter
Entgraten von Werkstücken aus Aluminium - Stand der Technik
Aluminium-Verlag, 1987
- /rey00/ R. Reynolds
Online Tutorial – Ultrasonic Performance, 2000
www.precisioncleaningweb.com
- /rey98/ R. Reynolds , C. Salerno
Ghost in the Machine: The Rumored Death Apparent Rebirth of the Vapor De-
greaser
The Magazine of Critical Cleaning Technology, November 1998, S. 24-30
- /rey99/ R. Reynolds , C. Salerno
Rising from the Mist
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, März 1999, S. 28-35
- /rot98/ S. Rothfuss
Weg was nicht hingehört; Technische Bürsten rationalisieren Produktionsabläufe
KEM Konstruktion Elektronik Maschinenbau, Heft 2, 1998, S. 82 ff.
- /rot99/ R. Rotstein
Trockeneisstrahlen in der Praxis
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 2, S. 52-55
- /rub99/ J. B. Rubin u. a.
Carbon Dioxide-Based Supercritical Fluids as IC Manufacturing Solvents
Technical Report LA-UR-99-831, Los Alamos National Laboratory, 1999

- /sch00/ G. Schulze-Eyssing
Wirtschaftliche Reinigung von Massenteilen online
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 40 (2000) Heft 6, S. 38-40
- /sch01/ R. D. Schraft, E. Westkämper
Reinigungsprozesse bei der Metallbearbeitung
Fraunhofer IPA Technologieforum F 69, 26. Oktober 2001, Stuttgart
- /sch75/ F. Schäfer
Entgraten - Theorie, Verfahren, Anlagen
Krausskopf-Verlag, 1975
- /sch82/ H. Schubert
Kapillarität in porösen Feststoffsystemen
Springer Verlag, 1982
- /sch83/ N. Schadler
Untersuchungen zur Trocknung und Entwicklung eines Modells für die Berechnung des Trocknungsverlaufes kapillarporöser lösungsmittelfeuchter Körper
Dissertation TH Darmstadt, 1983
- /sch93/ H. Schmid
Die Kombination: Naß-Vorreinigung und Plasma-Endreinigung
Metalloberfläche, Band 47 (1993) Heft 8, S. 367-371
- /sch94/ R. Schreinert
UV-Oxidation reinigt Spülwasser
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 4, S. 228-230
- /sch94a/ K.-J. Schmidt
Bad-Standzeiten verlängern. Reinigen mit wäßrigen Medien.
Metalloberfläche, Band 48 (1994) Heft 4, S. 221-226
- /sch95/ H. Schulze-Eyssing
Entölen von Kleinteilen in Schleuderwaschanlagen
MaschinenMarkt - Das Industriemagazin, Heft 28, 1995, S. 40-41
- /sch96a/ U. Schmidt, B. Renner
Nachwachsende Rohstoffe in Entfettung und Reinigung
Metalloberfläche, Band 50 (1996) Heft 4, S. 260-262
- /sch96b/ J. Schmidt
Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses
Dissertation der technischen Fakultät der Universität des Saarlandes, 1996
- /sch96b/ J. Schmidt
Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses
Dissertation der technischen Fakultät der Universität des Saarlandes, 1996
- /sch97/ P. Schulz
Ultraschall in der Oberflächentechnik
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 11, S. 58

- /sch98a/ W. Schwarz
Reinigung mit halogenfreien Lösemitteln: Anwendungstrends und VOC-Richtlinie
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 8, S. 40-43
- /sch98b/ U. Schmidt
Reinigen mit nicht-VOC-relevanten Lösemitteln
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 11, S. 46-48
- /sew69/ R. Sewig
Neuartige Fertigungsverfahren in der Feinwerktechnik
Carl Hanser Verlag, 1969
- /spa95/ W. D. Spall, S. B. Williams, K. E. Laintz
Precision Cleaning with Supercritical Carbon Dioxide for the Elimination of Organic Solvents and Reduction of Hazardous Waste
Internetseite der Los Alamos National Laboratory, 1995
www.scrub.lanl.gov/pubs/1011.htm
- /spi99/ S. Spielmann
The Ins and Outs of Tubular Parts Cleaning
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Februar 1999, S. 18-21
- /sti97/ G. Stipan
Plasmareinigen in der Zulieferindustrie
Metalloberfläche, Band 51 (1997) Heft 1, S. 19-20
- /sti99/ M. Stiefel
Reinigung mit Per – aus gutem Grund
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 39 (1999) Heft 4, S. 62-71
- /thi92/ A. Thilow
Entgrat-Technik: Entwicklungsstand und Problemlösungen
Kontakt & Studium: 392 (Oberfläche), Expert-Verlag, 1992
- /uhl98/ E. Uhlmann, B. Axmann, F. Elbing
Trockeneisstrahlen–neue Erkenntnisse durch Hochgeschwindigkeitsvideographie
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 7, S. 46-51
- /unr96/ J. Unruh
Fähige Spülprozesse – Spülqualität gemäß ISO 9000
Metalloberfläche, Band 50 (1996) Heft 6, S. 462-466
- /vis98a/ A. Visser, J. Haberland, F. H. Budde
Strahlen mit Trockeneis - Teil I
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 2, S. 54-58
- /vis98b/ A. Visser, J. Haberland, F. H. Budde
Strahlen mit Trockeneis - Teil II
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 38 (1998) Heft 3, S. 44-49
- /voh99/ U. Vohrer, C. Oehr
Plasma-Feinreinigung von Metalloberflächen
Abschlussbericht Förderkennzeichen IV 4332.62 - I 547.18
Projekträger: Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg

- /wag94/ W. C. Wagner
Design Criteria and Equipment Specifications for Metals Spray-Washing
The Magazine of Critical Cleaning Technology, November 1994, S. 35-41
- /wag97/ P. Wagner
Wäßrige Ultraschall-Reinigung als individuell variierbarer Prozeß
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 37 (1997) Heft 6, S. 46-47
- /wal94/ C. T. Walters, J. L. Dulaney
Lasers Demonstrate Potential, With Focus on Precision Cleaning
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Mai 1994, S. 33-37
- /wei00/ C. Weithaler
Flexible Anlagenkonzepte contra Reinigungsprobleme
JOT - Journal für Oberflächentechnik, Band 40 (2000) Heft 11, S. 84-86
- /wei69/ R. Weiner (Hrsg.)
Metall-Entfettung und -Reinigung
2. Auflage, Eugen G. Leuze Verlag, Saulgau/Württ, 1969
- /whi85/ S. Whitaker
Moisture transport mechanisms during the drying of granular porous media
DRYING '85, Proc. Of 4th International Drying Symposium
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1985
- /wil94/ M. Wilkes
Choices and Challenges in the Selection of Parts Washing Equipment
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Mai 1994, S. 19-21
- /wil98/ B. Williams
One Mean Bean
CleanTech and Parts Cleaning Magazine, Mai 1998, S. 13-16
- /wil98/ J. F. Williford
The Advantages, Disadvantages, and History of CO₂ Snow Cleaning
The Magazine of Critical Cleaning Technology, Juni 1998, S. 12-18
- /win94/ L. Winkler
Spülen - Qualitätssicherung und Umweltschutz: Spülen als prozeßfähiger Fertigungsschritt, Teile 1 bis 10
Galvanotechnik, Band 85 (1994) Hefte 9-12, Band 86 (1995) Hefte 3-5, 9, 11, 12

Formelzeichenverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
α	rad	Kegelwinkel
β		Kostenfaktor
c_0		Wirkstoffkonzentration im Ausgangszustand
c_n		Wirkstoffkonzentration im n -ten Bad
c_P	J/(kg· K)	Spezifische isobare Wärmekapazität
$c_{P,B}$	J/(kg· K)	Spezifische isobare Wärmekapazität der Bauteile
Δr	m	Belegung der Schleudertrommelwand mit Bauteilen
E		Eignung
E_{\max}		Eignung, Maximalwert
$F_{Ad,T}$	N	Adhäsionskraft zwischen Flüssigkeitstropfen und Bauteiloberfläche
F_F	N	Fliehkraft
$F_{F,n}$	N	Fliehkraft, Normalkomponente
$F_{F,T}$	N	Fliehkraft auf einen Flüssigkeitstropfen
$F_{F,t}$	N	Fliehkraft, Tangentialkomponente
F_G	N	Gewichtskraft
$F_{G,n}$	N	Gewichtskraft, Normalkomponente
$F_{G,T}$	N	Schwerkraft eines Flüssigkeitstropfens
$F_{G,t}$	N	Gewichtskraft, Tangentialkomponente
F_R	N	Reibkraft
$F_{R,\max}$	N	Reibkraft im Grenzfall
F_t	N	Tangentialkraft
G		Gewichtung
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
H	m	Höhe der Schleudertrommel
H	EUR	Herstellkosten
H_{Entwurf}	EUR	Herstellkosten eines Entwurfs
H_i	EUR	Ideale Herstellkosten
H_{zul}	EUR	Zulässige Herstellkosten
h	m	Höhe
h_V	J/kg	Spezifische Verdampfungsenthalpie
J	kg· m ²	Trägheitsmoment
J_1	kg· m ²	Trägheitsmoment, Trommelmantel
$J_{1,K}$	kg· m ²	Trägheitsmoment, konischer Trommelmantel

Symbol	Einheit	Bedeutung
$J_{1,Z}$	kg·m ²	Trägheitsmoment, zylindrischer Trommelmantel
J_2	kg·m ²	Trägheitsmoment, Trommelboden
J_3	kg·m ²	Trägheitsmoment, Bauteilschüttung
$J_{3,H}$	kg·m ²	Trägheitsmoment, Bauteilschüttung, horizontale Drehachse
$J_{3,K}$	kg·m ²	Trägheitsmoment, Bauteilschüttung, konische Trommel
$J_{3,V}$	kg·m ²	Trägheitsmoment, Bauteilschüttung, vertikale Drehachse
J_4	kg·m ²	Trägheitsmoment, Antriebsstrang
J_{ges}	kg·m ²	Trägheitsmoment, Gesamt
M_{An}	N·m	Antriebsmoment
M_{B}	N·m	Beschleunigungsmoment
M_{V}	N·m	Verlustmoment
m	kg	Masse
m_{B}	kg	Masse zu trocknender Bauteile
m_{C}	kg	Chargengewicht
m_{M}	kg	Masse, Trommelmantel
m_{T}	kg	Masse eines Flüssigkeitstropfens
μ		Reibbeiwert
n		Anzahl der Spülstufen
n		Anzahl der Bewertungskriterien
n_{min}	1/s	Minstdrehzahl beim Schleudern mit horizontaler Drehachse
n_{S}	1/s	Schleuderdrehzahl
$n_{\text{S,H}}$	1/s	Minstdrehzahl zum Ausschleudern von Haftflüssigkeit
$n_{\text{S,U}}$	1/s	Minstdrehzahl zum Ausschleudern ungebundener Flüssigkeit
P		Punktesumme
P_{An}	W	Antriebsleistung
P_{H}	W	Heizleistung bei der Verdampfungstrocknung
P_{M}	EUR	Marktpreis
$P_{\text{M min}}$	EUR	Niedrigster vergleichbarer Marktpreis
P_{max}		Punktesumme, Maximalwert
p	N/mm ²	Druck
p_{G}	N/mm ²	Druckschwankung in umlaufender Trommel aufgrund von Schwerkraft
p_{S}	N/mm ²	Schleuderdruck
$P_{\text{S,erf}}$	N/mm ²	Erforderlicher Schleuderdruck
π		Kreiszahl
R	m	Innenradius der Schleudertrommel

Symbol	Einheit	Bedeutung
R_a	m	Außenradius
R_i	m	Innenradius
r	m	Radius
r_1	m	Oberer Radius eines Kegelstumpfes
r_2	m	Unterer Radius eines Kegelstumpfes
r_G	m	Grenzradius
r_{\max}	m	Radius, maximal
ρ	kg/m ³	Dichte
ρ_{Fl}	kg/m ³	Dichte, Flüssigkeit
ρ_{W}	kg/m ³	Dichte, Trommelwerkstoff
S		Spülkriterium
s_1	m	Wandstärke, Trommelmantel
s_2	m	Wandstärke, Trommelboden
T	K	Temperatur
T_A	K	Ausgangstemperatur
T_S	K	Siedetemperatur
t	s	Zeit
t_T	s	Trocknungszeit
V	m ³	Volumen
V_C	m ³	Chargenvolumen einer Bauteilschüttung
V_{Fl}	m ³	Volumen zu verdampfender Flüssigkeit
\dot{V}_E	m ³ /s	Volumenstrom, verschleppte Flüssigkeit
\dot{V}_F	m ³ /s	Volumenstrom, Frischwasser
\dot{V}_S	m ³ /s	Volumenstrom, Spülwasser
W		Wertigkeit
W_B	J	Wärmemenge für das Erhitzen der Bauteile
W_G	J	Gesamtwärmemenge
W_S	J	Wärmemenge für das Erhitzen auf Siedetemperatur
W_t		Technische Wertigkeit
W_V	J	Wärmemenge für das Verdampfen von Flüssigkeit
W_w		Wirtschaftliche Wertigkeit
ω	1/s	Winkelgeschwindigkeit
X		Relativer Anteil gereinigten Schüttvolumens
z_F	m	Füllhöhe einer konischen Schleudertrommel

Lebenslauf

Persönliche Daten: Udo Kloke
geboren am 18.12.70 in Dortmund
ledig

Schulbildung: 01.08.77 - 22.07.81 Grundschule, Castrop-Rauxel
01.08.81 - 31.04.90 Ernst-Barlach-Gymnasium, Castrop-Rauxel

Zivildienst: 02.07.90 - 30.09.91 Mobiler sozialer Hilfsdienst der Arbeiterwohlfahrt,
Castrop-Rauxel

Studium: 01.10.91 - 10.09.97 Universität Dortmund,
Diplomstudiengang Maschinenbau,
Vertiefungsrichtung Maschinentechnik,
Träger des Jahrgangsbestenpreises 1997 der Gesellschaft der Freunde der Universität Dortmund e.V.

Studienbegleitend: 01.11.94 - 31.03.97 Fachschaftsarbeit
01.10.95 - 30.09.97 Studentische Hilfskraft,
Fachgebiet Maschinenelemente der Transporttechnik

Berufstätigkeit: 01.10.97 - 30.09.98 Wissenschaftlicher Angestellter,
Universität Dortmund,
Fachgebiet Maschinenelemente der Transporttechnik
01.10.98 - 30.09.00 Stipendiat der Stiftung Industrieforschung
01.10.98 - 30.04.00 Wissenschaftliche Hilfskraft,
Universität Dortmund,
Fachgebiet Maschinenelemente der Transporttechnik
Seit 01.05.00 Wissenschaftlicher Angestellter,
Universität Dortmund,
Fachgebiet Maschinenelemente

Dortmund, den 22.04.03