

## 6.2 Optimale Reinigungstechnik für steigende Qualitätsanforderungen in der Wärmebehandlung – Aspekte zur kombinierten Hybrid-Reinigungstechnik

von Thomas Weiss und Olaf Irretier

### Einführung

Die Anforderungen an die Bauteilreinigung vor und nach der Wärmebehandlung haben in den vergangenen Jahren weiter zugenommen. Demgegenüber sind jedoch Investitionen in eine verbesserte Bauteilreinigung nicht in gleichem Maße durchgeführt worden. Die Bauteilreinigung wird nach wie vor noch nicht als bedeutender Prozessschritt in der Wertschöpfungskette „Wärmebehandlung“ angesehen.

Die Reinheit ist bei der Herstellung komplexer Bauteile in der Wärmebehandlung und Härtereitechnik inzwischen aber ein kostenrelevantes und vor allem auch wesentliches Qualitätskriterium. Wunschgedanke ist hier, Qualität zu geringstmöglichen Kosten zu erzeugen und idealerweise auf eine Reinigung noch ganz zu verzichten. Dieses ist ein Wunschgedanke, der zukünftig auch weiter der Realität und den Ansprüchen weichen wird.

Die Aufgaben und Anforderungen an eine moderne Reinigungstechnik haben sich hinsichtlich der Anlagen- und Verfahrenstechnik in den vergangenen Jahren rapide geändert. So sind einfache und billige Einkomponentenreiniger mit nur mäßiger Reinigungsleistung und kurzer Standzeit den modernen und recyclingfähigen und modularen Mehrkomponentenreinigern gewichen, die den jeweiligen Anforderungen angepasst sind. Darüber hinaus lässt sich deren Anwendung analytisch überwachen und gezielt nachdosieren. Damit wird eine gleich bleibende Reinigungsqualität während der gesamten Standzeit und die geforderte Prozesssicherheit gewährleistet. Dieser Trend setzt sich auch vermehrt in der Reinigung vor der Wärmebehandlung durch (**Tabelle 1** und **Tabelle 2**).

Die Wärmebehandlung und Härtereitechnik stellt an die Reinigungstechnik besondere Anforderungen, da Fehler in der Regel erst nach diesen Prozessen erkannt werden. Die thermochemischen Diffusionsverfahren wie das Gas- oder Plasmanitrieren stellen eine besondere Herausforderung an die Reinigungstechnik dar, da scheinbar saubere, d. h. spän- oder ölfreie Teile bei diesen Verfahren zur Weichfleckigkeit führen können (z. B. unterschiedlich dicke Verbindungsschichten, unter-

**Tabelle 1:** Auswahl des Reinigungsverfahrens in Abhängigkeit der Verschmutzung

	Material des Werkstücks				Verunreinigung am Werkstück		
	Wässrig	KW	Hybrid		Wässrig	KW	Hybrid
Stahl	+ <sup>2</sup>	+	++	Öl/Fett	o	+	+
Edelstahl	++	+	++	Emulsion	++	–	++
Guss	+ <sup>2</sup>	++	++	Metallabrieb	++ <sup>1</sup>	o <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>
Sintermetall	–	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	Isolierpaste	++ <sup>1</sup>	o <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>
CFC	–	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	Fingerabdrücke	++	–	++

++ = Sehr gut    + = Gut    o = Bedingt    – = Mangelhaft    <sup>1</sup> = mit Ultraschall    <sup>2</sup> = mit Zusätzen

**Tabelle 2:** Auswahl des Reinigungsverfahrens in Abhängigkeit der Vor-, bzw. Nachbehandlung

Qualität der Reinigung in der Wärmebehandlung			
	Wässrig	KW	Hybrid
Vorreinigung	+ <sup>3</sup>	+	++
Nachreinigung	o	+	+
Fleckenfrei	+ <sup>3</sup>	o	++
Oberflächenspannung	+	++	++
Kleinteile/Schüttgut	-	+	+
Flächen, aneinanderlegend	-	++ <sup>2</sup>	++ <sup>2</sup>
Sackbohrungen, schöpfend	-	+ <sup>2</sup>	+ <sup>2</sup>
Sackbohrungen, nach unten	-	+	+

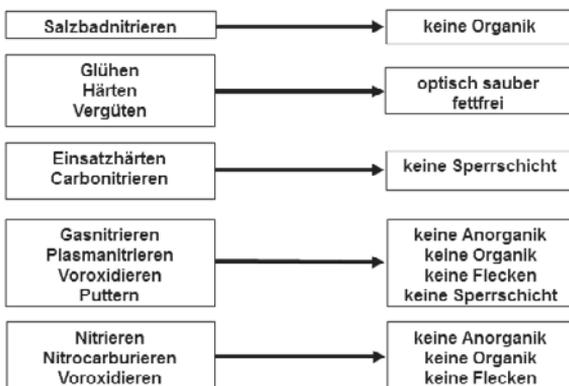
++ = Sehr gut    + = Gut    o = Bedingt    - = Mangelhaft  
<sup>1</sup> = mit Ultraschall    <sup>2</sup> = Erhöhte Behandlungsart    <sup>3</sup> = Materialabhängig

schiedliche Konzentrationsprofile, teilweise oder vollständige Verhinderung der Aufstickung, sowie schlecht haftende Verbindungsschichten).

Eine Nacharbeit, etwa beim Gasnitrieren, ist in der Regel auszuschließen und zudem sehr zeit- und kostenaufwendig. Diffusionshemmende Sperr- oder Passivschichten sind daher in der Regel mechanisch zu entfernen, wodurch das Problem der Maßhaltigkeit dann auftreten kann.

### 6.2.1 Stand der Technik

In Härtereien und Wärmebehandlungsbetrieben kommen Reinigungsverfahren wie Luftablassen von Verschmutzungen, Wasserspülungen, Oxidieren, CKW-Reiniger, entaromatisierte Kohlenwasserstoff-Reiniger/modifizierte Alkohole, alkalische Reiniger z. B. zum Entphosphatieren oder leicht alkalische und neutrale wässrige Reiniger zum Einsatz. CKW- und Kohlenwasserstoffreiniger auf



**Bild 1:** Vorreinigung – Erforderliche Reinigungsqualität für verschiedene Verfahren in der Wärmebehandlung

Basis modifizierter Alkohole werden dabei häufig bei der Teilreinigung vor dem Nitrieren und vor dem Vakuum- und Plasmahärteverfahren eingesetzt. Stark alkalische Reiniger werden zum Beispiel zum Entphosphatieren in der Schraubenindustrie eingesetzt.

Die in Härtereien jedoch nach wie vor am häufigsten verwendeten Reinigungsmittel für die Bauteilreinigung vor und nach der Wärmebehandlung sind alkalisch und neutrale wässrige Reiniger. Diese erlauben neben der guten Reinigungs- und Korrosionsschutzwirkung auch eine genaue Abstimmung auf die Reinigungsanlagen, die Bauteilgeometrie und die Verschmutzungsarten (**Bild 1**). Alkalische Reiniger kommen bei hohem Reinheitsanspruch beispielsweise vor dem Galvanisieren bzw. Beschichten zur Anwendung. Aufgrund der Reinigerbestandteile muss nach dem Waschen aber immer gründlich gespült werden, idealerweise in zwei oder mehr Spülbecken. Neutralreiniger werden eingesetzt, wenn Emulsionen, dünnflüssige Öle und Späne abzureinigen sind. Sie hinterlassen normalerweise keine Salzurückstände auf den gereinigten Bauteilen und bieten sich so optimal auch für thermochemische Wärmebehandlungsverfahren an, die eine saubere und katalytische Oberflächen benötigen. Sie bewirken darüber hinaus einen temporären Korrosionsschutz auf den Bauteilen.

Bei der Anlagentechnik kommen heute einstufige und mehrstufige Reinigungsanlagen zum Einsatz. Moderne Waschanlagen beinhalten mehrere Reinigungs- und Spülstufen mit zum Teil integrierter Trocknungsstufe und sind nicht selten als Hybrid-Anlagen in der Kombination aus wässriger Reinigung und Kohlenwasserstoffreinigung ausgeführt. Die Speisung der unterschiedlichen Reinigungs- und Spülstufen wird durch getrennte Vorratsbehälter realisiert. Hinsichtlich der Reinigungsverfahren wird zwischen der Tauch-, Spritz- und Flutreinigung unterschieden.

Einfluss auf das Reinigungsergebnis hat aber nur die Auswahl des optimalen Reinigers. Ein für die Wärmebehandlung optimales Reinigungsergebnis kann nur dann erzielt werden, wenn Bauteilgeometrie, Verschmutzungsart und -menge, Anlagentechnik und Verfahrensablauf optimal aufeinander abgestimmt ist, als auch eine der Verschmutzung angepasste Badpflege/Aufbereitungstechnologie bereitsteht.

Die Entwicklung von Lösemittel-Reinigungsanlagen auf CKW-Basis wurde Mitte der 80er Jahre maßgeblich entwickelt. Geschlossene, abgedichtete Systeme (atmosphärisch) wurden bis 1986 im Markt eingeführt; geschlossene, abgedichtete Systeme (atmosphärisch mit Schleuse) wurden bis 1992 entwickelt. Geschlossene, gasdichte Reinigungsanlagen mit Schleuse sind ab 1992 im Reinigungssektor verfügbar (Vollvakuum-Systeme ab 1995).

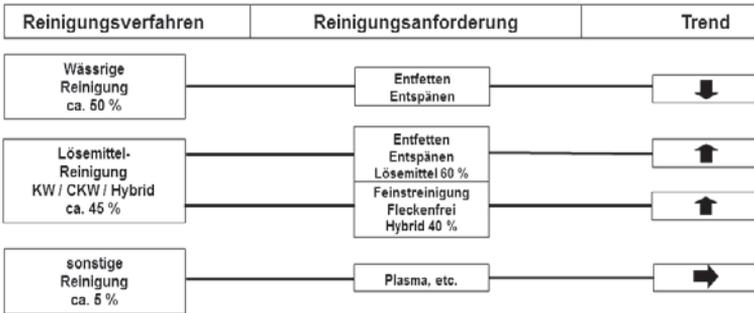
Reinigungsanlagen mit Kohlenwasserstoffen bzw. modifizierten Alkoholen als offene und geschlossene Systeme (15 °C unter Flammpunkt) mit Vakuumtrocknung wurden 1992 entwickelt; geschlossene, gasdichte Systeme (Flüssigbereich atmosphärisch 15 °C unter Flammpunkt Dampfentfetten < 100 mbar mit Vakuumtrocknung) ab 1994; Vollvakuum-Systeme Reinigung und Dampfentfettung über Flammpunkt < 100 mbar ab 1995.

## 6.2.2 Kombinierte und mehrstufige Bauteilreinigung

Für die besonderen Anforderungen im Härtereiwesen werden zunehmend Reinigungsanlagen (**Bild 2**) eingesetzt, die kombiniert in mehreren Stufen (wässrig und mit Lösemitteln) waschen, um beispielsweise nach einer thermochemischen Wärmebehandlung ein optimales und prozesssicheres Ergebnis erzielen zu können.

Moderne, kombinierte Reinigungsanlagen zeichnen sich aus durch:

- Tauchreinigung unter Vakuum (Lösemittel und wässrig)
- Dampfentfettung (Lösemittel)
- Optimale Abreinigung organischer und anorganischer Verunreinigungen
- Ultraschallunterstützung beim Waschen (optional)

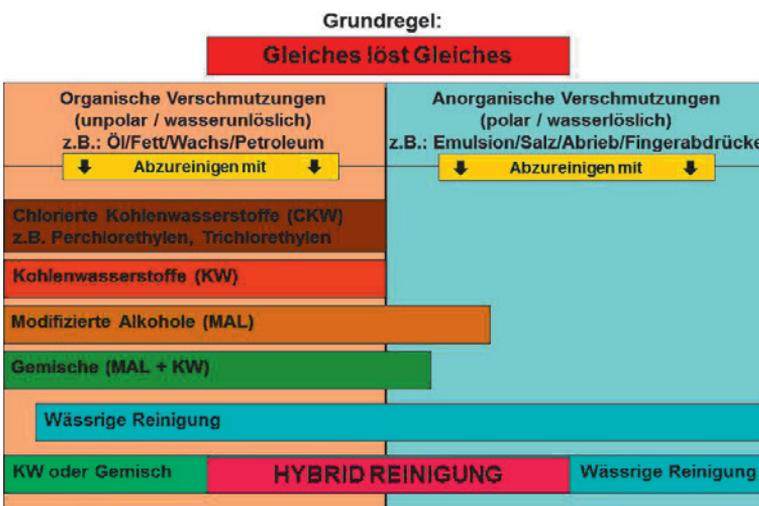


**Bild 2:** Reinigungsanlagen in der Wärmebehandlung

- Druckumfluten bei erhöhter Temperatur
- Hohe Standzeit des wässrigen Bades
- Kontinuierliche Destillation des Lösemittels
- Vakuumtrocknung.

Der Waschprozess – und das sollte nach den bisherigen Ausführungen und den Erkenntnissen auch Forschung und Praxis bekannt sein – ist in vielerlei Hinsicht für die Qualität der Gas- oder Plasmanitrierung ein wesentlicher Prozessschritt. Zum einen müssen z. B. für eine gute Nitrierbarkeit im Sinne der Stickstoffsorption an der Oberfläche der Bauteile technisch saubere Oberflächen vorliegen, die eine hohe Gleichmäßigkeit der Nitriertiefe ermöglichen und eine partielle Weichfleckigkeit vermeiden. Zum anderen hängt ein homogenes optisches Erscheinungsbild der Bauteiloberfläche nach der Nitrierung (keine Flecken, gleichmäßige hellgraue Färbung) entscheidend von der Sauberkeit ab.

Der Stellenwert der Optik der Bauteile ist neben den technologischen Eigenschaften der Nitrierschicht von stark zunehmender Bedeutung für viele Kunden. Gerade im Bereich Automotive wird



**Bild 3:** Möglichkeiten der Reinigungstechnik – Leitsatz: „Gleiches löst Gleiches“

eine optimale Optik nach der Härtung als selbstverständlich vorausgesetzt. Es kann festgestellt werden, dass schätzungsweise in 80 % der Fälle, bei denen eine mangelhafte Nitrierung vorliegt, die Ursache nicht im Nitrierprozess selbst sondern in einer unzureichenden Sauberkeit zu finden ist.

Worin liegt nun die Schwierigkeit beim Waschen vor der thermochemischen Behandlung? Im Grundsatz gibt es zwei wesentliche Verfahren, die beim Reinigen angewandt werden: waschen auf Lösemittelbasis oder mit alkalischen Reinigern. Die Schwierigkeit bei der Auslegung des Waschprozesses liegt darin, dass technische Oberflächen aus den Fertigungsprozessen neben Oxidschichten mit vielfältigen Verunreinigungen kontaminiert sind, die zudem in Abhängigkeit von zahlreichen Bedingungen wie Zwischenlagerungszeiten, Umgebungfeuchtigkeit und -temperatur auch noch unterschiedlich stark anhaften. Der Zustand der Oberfläche vor der Reinigung ist somit auch nicht als konstant anzusehen. Zudem sind die jeweiligen Verunreinigungen für den Lohnwärmebehandler meist weitgehend unbekannt und lassen sich nicht mit jedem Reiniger entfernen. Die Verunreinigungen selbst können aus der chemischen Betrachtung heraus auch nicht mit einem einzigen Reiniger gelöst werden. Hier gilt der Leitsatz „Gleiches löst Gleiches!“ (**Bild 3**): Anorganische Verschmutzungen (polar) wie Emulsionen, Salze, Abrieb oder Fingerabdrücke sind wasserlöslich, während sich organische Verschmutzungen (unpolar) wie Öle, Fette, Wachse oder Petroleum nicht wasserlöslich sind. Hier sind Waschanlagen mit Lösemittel (Kohlenwasserstoffe oder Gemische) klar im Vorteil.

### 6.2.3 Kombinierte Waschanlagen (Hybrid-Anlagen)

Kombinierte Waschanlagen setzen sich in der Härtereibranche aus den geschilderten Gründen immer mehr durch. In solchen Anlagen kann in einer Kammer mit Lösemittel und alkalisch in verschiedenen Stufen gewaschen werden. Die Waschzyklen sind variabel programmierbar und bieten hier alle Möglichkeiten, einen qualitativ hohen und auf der anderen Seite kostenoptimierten Waschprozess einzustellen. Zudem sind die Anlagen mit der Möglichkeit einer Dampfentfettung, einer Lösemittel- sowie Wasseraufbereitung über Destillation, einer Vakuumwaschung und -trocknung und optional mit einer Ultraschallunterstützung ausgerüstet. Verschiedene Anlagenausstattungen sind in den **Tabellen 3, 4 und 5** dargestellt.

Die Tauchwaschung unter Vakuumbedingungen ermöglicht ein Fluten und Säubern „unten liegender“ Sackbohrungen und Gewinden, die unter Atmosphärenbedingungen nur spritzend gereinigt werden können. Zudem ermöglicht der geringe Druck ein effektives Waschen bei hohen Temperaturen, die aus sicherheitstechnischer Sicht nur auf diese Weise realisiert werden können. Die Trocknung unter Vakuum ist energieeffizient und so effektiv, dass die Anlagenkammer im komplett

Typ	Mindestausstattung	Abreinigen von
Wässrige Anlage	2 Wassertanks (Waschen + Spülen) Ölabscheider/Destillation/Ultraschall Vakuum- oder Heißlufttrocknung	Anorganik Organik
Lösemittelanlage	1 Lösemitteltank Destillation/Ultraschall Vakuumtrocknung	Organik
Hybrid-Anlage	1 Lösemitteltank, 1 Wassertank (Waschen) Destillation/Ultraschall Vakuumtrocknung	Anorganik Organik

**Tabelle 3:** Anlagenausstattung beim Vorreinigen vor dem Einsatzhärten

Typ	Mindestausstattung	Abreinigen von
Wässrige Anlage	2 Wassertanks (Waschen + Spülen) Ölabscheider/Destillation Vakuum- oder Heißlufttrocknung	Organik
Lösemittelanlage	1 Lösemitteltank Destillation/Ultraschall Vakuumtrocknung	Organik

**Tabelle 4:** Anlagen-ausstattung beim Vorreinigen vor dem Anlassen

Typ	Mindestausstattung	Abreinigen von
Wässrige Anlage	3 Wassertanks (Waschen + Spülen + Spülen) Ölabscheider/Destillation/Ultraschall Ionentauscher	Anorganik Organik
Lösemittelanlage	1 Lösemitteltank Destillation (> 300 l/h)/Ultraschall	Organik
Hybridanlage	1 Lösemitteltank, 1 Wassertank (Waschen), 1 Spültank (Spülen) für besondere Fleckenfreiheit Destillation/Ultraschall/Ionentauscher	Anorganik Organik

**Tabelle 5:** Anlagen-ausstattung beim Vorreinigen vor dem Nitrieren/ Nitrocarbo-rieren/Plasmanitrieren

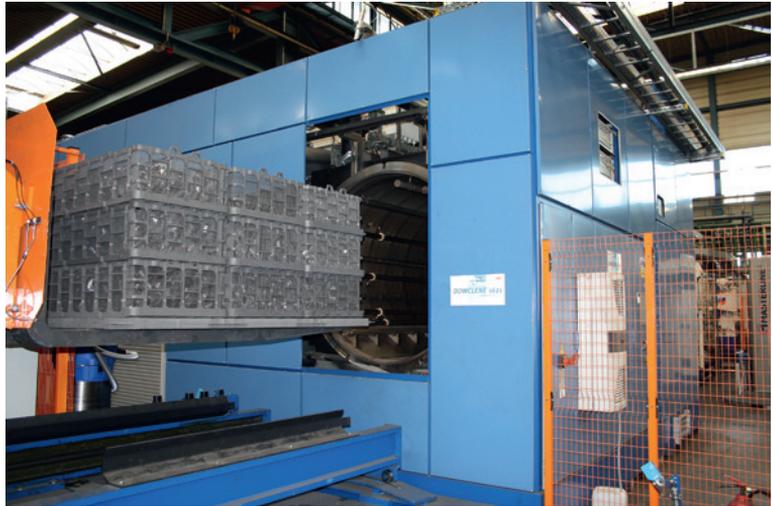
trockenen Zustand chargiert werden kann, so dass der Bediener nicht in Kontakt mit Waschmit-  
telrückständen kommt.

In **Bild 4** und **Bild 5** ist eine Einkammer-Waschanlage zum kombinierten Waschen unter Vakuum mit verschiedenen Reinigern in Stufen dargestellt, die auch als rein alkalische Waschanlage oder Waschanlage mit Reinigern auf Lösemittelbasis ausgeführt werden können. Kombinierte Hybrid-Reinigungsanlagen ermöglichen eine flexible Arbeitsweise, da diese nicht an ein bestimmtes Rei-  
nigungsmedium gebunden sind und somit die Forderung nach höchster Qualität erfüllen können. So wird in diesen Anlagen zusätzlich zur Lösemittelreinigung eine wässrige Reinigungsstufe ein-  
gesetzt. Selbst eine weitere Stufe zur Konservierung ist möglich – in einer Reinigungskammer (**Bild 6**).



**Bild 4:** Kombinierte Reinigungsanlagen (Quelle EMO)

**Bild 5:** Kombinierte Reinigungsanlage für große Chargen (Quelle EMO)



**Bild 6:** Reinigungskammer  
670 x 480 x 300 mm (Quelle EMO)

### Vorteile und Nutzen der kombinierten Reinigung:

- Tauchreinigung (Lösemittel und wässrig) und Dampfentfettung (Lösemittel)
- Optimale Abreinigung organischer und anorganischer Verunreinigungen
- Gleichzeitiges Betreiben von Ultraschall (optional) und Druckumfluten bei erhöhter Temperatur (Power-Sonic-Cleaning)
- Hohe Standzeit des wässrigen Bades (Öleintrag in Lösemittelteil)
- Kontinuierliche Destillation des Lösemittels
- Vakuumtrocknung
- Individuelle Problemlösungen für alle Abmessungen und Gewichte.

Die **Bilder 7, 8, 9 und 10** zeigen exemplarische Bauteile, an denen die Wirksamkeit der Hybrid-Reinigung erkennbar ist.



**Bild 7:** Vor (oben) und nach Kohlenwasserstoff-Reinigung (unten)



**Bild 8:** Enge Chargierweise mit Hybrid-Reinigung

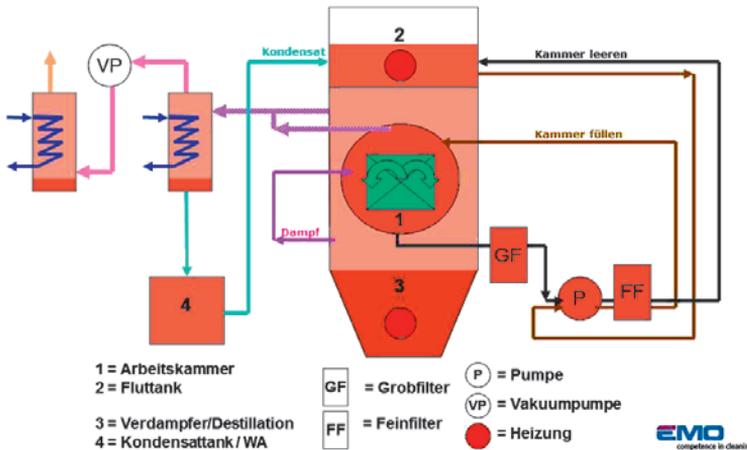


**Bild 9:** Vergleich Hybridreinigung (Oben) und Lösemittelreinigung (unten)



**Bild 10:** Vergleich Hybridreinigung (unten) und wässrige Reinigung (oben)





**Bild 13:** Komponenten einer Reinigungsanlage

Rein wässrige Reinigungsanlagen sind vor allem dann auszuwählen, wenn es um Abreinigung von anorganischen Verunreinigungen geht. Durch den Einsatz der wässrigen Reiniger im Vakuum lässt sich auch bei enggepackten Schüttgutbehältern eine homogene Tiefenreinigung erzielen. Auch im Hinblick auf die Trocknung erreichen die Vakuumsysteme im Vergleich zu konventionellen atmosphärischen Anlagen signifikant bessere Ergebnisse bei gleichzeitig niedrigerem Energieverbrauch. Die Reinigungsmedien werden weitestgehend verlustfrei im Kreislauf geführt. Permanente Pflege der Reinigungsflüssigkeiten durch Filtration und Destillation sorgt für hohe Standzeiten und sichert einen wirtschaftlichen und umweltgerechten Betrieb. Die Vorteile der rein wässrigen Vakuumreinigung sind:

- Perfekte Lösung für anorganische Verschmutzungen
- Maximale Umweltverträglichkeit
- Hervorragende Reinigungsergebnisse
- Schnelle Trocknung im Vakuum
- Vorbildliche Energiebilanz, da Beheizung des Wasch- und Spülbades über wässrige Destillation.

Die **Bilder 11, 12 und 13** zeigen exemplarisch einige Anlagenkonzepte der kombinierten Reinigungstechnik.

## 6.2.4 Badpflege und Badaufbereitung

Der Badpflege und Badaufbereitung kommt bei jedem Reinigungsprozess eine besondere Bedeutung zu. Die kontinuierliche Aufbereitung einer Lösemittelreinigungsanlage wird durch Dampfdestillation erreicht. Das Vakuum in Anlage beträgt hierbei ca.  $-0,9$  bar oder ca. 80–100 mbar abs.; die Temperatur im Verdampfer liegt bei 98–105 °C, die Temperatur im Fluttank liegt bei 90–95 °C.

Die Komponenten bei der wässrigen Badaufbereitung sind Schwerkraft-Ölabscheider zur Badpflege im Waschbereich und bei mittleren Reinigungsanforderungen (Trennung von Wasser und freiem Öl aufgrund der unterschiedlichen Dichte). Vorteile:

- geringer apparativer Aufwand
- gut geeignet als Vorstufe zu Ultrafiltration und Verdampfungstechnik.

Nachteile:

- Emulsionen nicht trennbar
- lange Verweilzeiten und deshalb bei hohen Durchsätzen erheblicher Platzbedarf
- Entölungswirkung geringer als bei Separatoren.

Ultrafiltration (Emulsionstrennung und Spaltung beim Überströmen einer porösen Membran) haben folgende Vorteile:

- Abscheiden emulgierter Öle
- Erreichen kleinster Ölkonzentrationen
- teilweise Rückgewinnung des Reinigers.

Nachteile dieses Verfahrens:

- Einsatz ultrafiltrierbarer Reiniger erforderlich
- Rückhaltevermögen der Membrane von selektiver Trenngrenze abhängig, somit Kompromiss zwischen minimalen Ölgrenzwerten und Reinigungswiederfindung
- nicht einsetzbar zur Spülbadpflege.

Verdampfer (Verdampfung von Öl-Waschmittel-Emulsionen, Aufkonzentrierung der Öl- und Schmutzphase im Verdampfer, Rückführung des Kondensats in die Wasch- und Spülbäder) ermöglichen einen abwasserfreien Betrieb der Reinigungsanlage durch Rückgewinnung der Verdampfungsenthalpie sowie durch Badheizung mit dem Wasserdampf. Bezüglich Reiniger und Salzgehalt wird im Kondensat dabei Spülbadqualität erreicht.

Nachteile:

- bei sehr hohem Öleintrag und demulgierendem Reiniger nur in Kombination mit Schwerkraftölabscheider oder Zentrifuge
- bei sehr hohem Öleintrag und emulgierendem Reiniger nur in Kombination mit Ultrafiltration.

Kreislauf-Ionentauscheranlage (Entsalzung des Wassers durch Kreislaufführung erzeugen Spülwasser über Kationen-Anionen-Austauschharz). Die Vorteile sind:

- Vermeidung von Kalk- bzw. Reinigerflecken auf den Teilen bei der Trocknung
- Vollentsalzung des nachgespeisten Frischwassers.

Nachteile:

- bei zu hoher Öl- bzw. Tensidbelastung der VE-Spülen durch Verschleppung ist die Vorschaltung von Tensidfängerharz bzw. Aktivkohle notwendig.

Eine optimale Badpflege mit den oben genannten Komponenten ist ein Restölgehalt (**Tabelle 6**) in der Wasserphase sogar von < 1 mg/l möglich.

**Tabelle 6:** Restölgehalt in der Wasserphase verschiedener Aufbereitungsverfahren

Aufbereitungsverfahren	Ölkonzentration der Wasserphase in mg/l	
	Demulgierendes System	Emulgierendes System
Schwerkraft-Ölscheider	1.000–3.000	2.500–10.000
Mikrofiltration	10–500	
Ultrafiltration	1–50	
Verdampfer	< 10	
Ionenaustauscher	< 1	

### **6.2.5 Fazit**

Die Bauteilreinigung in der Wärmebehandlung wird auch in der Zukunft weiter ansteigende Beachtung finden. So ist die Reinheit vor und nach Wärmebehandlung inzwischen ein wesentliches Qualitätskriterium. Mit Hilfe moderner, kombinierter Hybrid-Reinigungsanlagen kann diesen hohen Qualitätsanforderungen entsprochen werden.