

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie

UMWELTLEISTUNG

Nr. 09/2001

Krause, W. / Günther, E. /
Schulze, L. (Hrsg.)

Ökologische Bewertung
von Reinigungsprozessen in
der Oberflächentechnik -
Möglichkeiten zum Einsatz
integrierter Umweltschutztechnologien

Huber, V.

Herausgeber:



**Professur für
Betriebswirtschaftslehre
Betriebliche Umweltökonomie**

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Werner Krause

Prof. Dr. Edeltraud Günther

Dr.-Ing. Lothar Schulze

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Veit Huber

Technische Universität Dresden

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

Professur für Betriebswirtschaftslehre,

insbes. Betriebliche Umweltökonomie

01062 Dresden

Telefon: (0351) 463-3 4313

Telefax: (0351) 463-3 7764

E-Mail: bu@mailbox.tu-dresden.de

www.tu-dresden.de/wwbwlbu

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht auf dem Hochschulschriftenserver der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) unter:

<http://hsss.slub-dresden.de/hsss/servlet/hsss.urlmapping.MappingServlet?id=1078479078031-6932>

Diplomarbeit eingereicht: 2001

Veröffentlicht: 2004

Vorwort

Die Bedeutung der natürlichen Umwelt in den Wirtschaftswissenschaften hat in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen: Durch die zunehmende ökologische Knappheit entwickelt sie sich zu einem ökonomisch knappen und somit entscheidungsrelevanten Parameter. Das Forschungsprogramm der Professur für Betriebswirtschaftslehre, insb. Betriebliche Umweltökonomie an der Technischen Universität Dresden spiegelt sich auch im Aufbau der Lehre wider. So fließen die gewonnenen Erkenntnisse aus theoretischer und praktischer Forschung direkt in die einzelnen Lehrveranstaltungen ein. Die vorliegenden „Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie“ sollen diesen Prozess der Verzahnung unterstützen. Inhalt der Schriftenreihe sind in erster Linie ausgewählte Diplomarbeiten der Professur für Betriebliche Umweltökonomie, durch die der Leser Einblick in die Arbeitsschwerpunkte und Transparenz über die Arbeitsinhalte gewinnen soll.

Die Gestaltung der Schriftenreihe ist Frau Dipl.-Kffr. Susann Kaulich zu verdanken, in deren Hand die redaktionelle Arbeit, die Koordination der Autoren bzw. Herausgeber und das Layout der vorliegenden Schriftenreihe lag.

Die vorliegende Ausgabe beschäftigt sich mit dem Thema ökologische Bewertung von Reinigungsprozessen in der Oberflächentechnik. Die ökologische Bewertung von Prozessen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit ist der Prozess Reinigen, der in der Oberflächentechnik breite Anwendung findet. Mit einer Systematisierung und Wertung der Bedeutung der Hauptverfahren wird sich dann auf den Prozess des wässrigen Reinigens konzentriert, der den größten Anteil der Anwendungen ausmacht.

Die Analyse des Technologiefeldes ergab ein breites Spektrum möglicher Verfahrensvariationen. Dies hat zur Folge, dass fast jede einzelne Reinigungsanlage auf den jeweiligen Einsatzzweck mit Hilfe der möglichen Anwendungsparameter optimiert werden kann.

Ziel dabei ist es, die Anlagen ökonomisch-ökologisch optimal zu betreiben. Dieses Ziel kann durch Investitionen in bereits angebotene Umweltschutztechnologien auch mit Kostenvorteilen erreicht werden. Die in der Arbeit vorgestellten und systematisierten integrierten Umweltschutztechnologien sind geeignet, die ebenfalls dargelegten ökologischen Schwachstellen des Prozesses auszugleichen. Mit dem Einsatz dieser Technologien steigt die Komplexität der Prozessführung, so dass sich daraus Forschungsbedarf zur automatisierten Überwachung und Regelung dieses Prozesses unter Einbeziehung neuer Sensorik ergibt.

Weiterhin wird die Norm DIN ISO 14031 zur Umweltleistungsbewertung vorgestellt und ein Vorschlag für potentielle prozessorientierte Umweltziele sowie entsprechende Kennzahlen unterbreitet. Die kritische Betrachtung des Reinigungsprozesses aus ökologischer Sicht hat gezeigt, dass bereits ein hohes Aktivitätsniveau bei der Forschung zu diesem Prozess zu verzeichnen ist und somit dessen Bedeutung für Wirtschaft und Umwelt unterstreicht.

Werner Krause / Edeltraud Günther

Die wissenschaftliche Fundierung der Arbeit basiert auf den Ergebnissen der gleichnamigen Diplomarbeit von Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. V. Huber an der TU Dresden, Institut für Feinwerktechnik und Professur für Betriebliche Umweltökonomie. Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Werner Krause und Prof. Dr. Edeltraud Günther / Betreuer: Dr.-Ing. Lothar Schulze.

Für den Inhalt dieses Beitrages ist selbstverständlich allein der Autor verantwortlich.

Ökologische Bewertung von Reinigungsprozessen in der Oberflächentechnik

- Möglichkeiten zum Einsatz integrierter Umweltschutztechnologien

Inhaltsverzeichnis

<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>III</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>IV</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>IV</i>
<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	<i>V</i>
<i>Symbolverzeichnis</i>	<i>VII</i>
1 Einleitung	1
2 Oberflächentechnik und Reinigung	2
2.1 Definition des Begriffes Oberflächentechnik	2
2.2 Einordnung der Oberflächentechnik in das Wirtschaftssystem	3
2.3 Unternehmensstruktur in der Oberflächentechnik	5
3 Prozess Reinigen	7
3.1 Definition des Prozesses Reinigen	7
3.2 Bedeutung und Einordnung des Prozesses Reinigen in die Oberflächentechnik	7
3.3 Neuere Ansätze zur Vermeidung von Reinigung in der Oberflächentechnik	9
3.4 Einordnung und Bedeutung angewandter Reinigungsverfahren	10
3.4.1 Reinigen mit Lösungsmitteln.....	11
3.4.1.1 Der Einsatz halogener Kohlenwasserstoffe (HKW).....	11
3.4.1.2 Der Einsatz von Kohlenwasserstoffen (NHKW bzw. KW).....	13
3.4.1.3 Der Einsatz oxygenierter bzw. sauerstoffhaltiger Lösemittel	14
3.4.2 Reinigen auf wässriger Basis.....	15
3.4.3 Spezialverfahren zur Reinigung von Oberflächen.....	16
3.4.3.1 Das Plasmareinigen.....	16
3.4.3.2 Das Reinigen mit überkritischem bzw. komprimiertem Kohlendioxid	16
3.5 Schlussfolgerungen aus der Betrachtung der Reinigungsverfahren	17
4 Wässriges Reinigen/Entfetten als Prozess	18
4.1 Prozessführung beim wässrigen Reinigen	19
4.1.1 Stufe Reinigen.....	20
4.1.1.1 Reinigungschemie.....	20
4.1.1.2 Die Reinigungsverfahren	23

4.1.1.3	Einfluss der Anwendungsparameter	24
4.1.2	Stufe Spülen.....	26
4.1.3	Stufe Trocknen.....	28
4.2	Stoff- und Energieströme	28
4.2.1	Einganggröße Verunreinigungen.....	29
4.2.2	Einganggröße Energie.....	30
4.2.3	Einganggröße Reinigungsmittel.....	31
4.2.4	Abwasser aus dem Reinigungsprozess	31
4.3	Verfahren und Ansätze zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit des wässrigen Reinigungsverfahrens	32
4.3.1	Nichtwässrige Vorreinigung	33
4.3.2	Wässrige Vorreinigung	33
4.3.3	Wirkbadkaskade.....	34
4.3.4	Regeneration demulgierend arbeitender Entfettungsbäder.....	35
4.3.5	Membranfiltration zur Badpflege von Reinigungsbädern	35
4.3.6	Verfahren zur Konzentration von Wirkstoffen aus der Spülstufe	38
4.3.6.1	Verdampfen bzw. Destillation.....	39
4.3.6.2	Umkehrosmose	40
4.3.7	Modell der Stoffkreislaufschließung beim wässrigen Reinigen	41
4.3.8	Prozessmesstechnik zur Reinigungs- und Spülbadüberwachung	43
4.4	Stand der Technik beim Prozess Reinigen und Forschungsansätze in der Oberflächentechnik	43
5	Ökologische Bewertung des Prozesses Reinigen in der Oberflächentechnik	48
5.1	Umweltleistungsbewertung nach DIN EN ISO 14031	48
5.2	Potentielle prozessorientierte Umweltziele oberflächentechnischer Unternehmen.....	52
5.2.1	Lenkungssystem Recht/Politik	53
5.2.2	Lenkungssystem Markt / Technologie und Lenkungssystem Moral	55
5.2.3	Abgeleitete Umweltziele für den Prozess wässriges Reinigen.....	55
5.3	Vorschlag für Kennzahlen zur Bewertung des Prozesses wässriges Reinigen ..	56
5.4	Ökologische Schwachstellen des Prozesses wässrigen Reinigen.....	59
6	Zusammenfassung.....	60
Anhang	62
Literaturverzeichnis	64
Gesetzes-/Urteilsverzeichnis	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einordnung Branche Oberflächentechnik zur Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 93)	4
Abbildung 2: Struktur des Marktes für Oberflächentechnologie.....	6
Abbildung 3: Vermeidung unnötiger Zwischenbehandlungsmaßnahmen durch sinnvollen Produktionsgang.....	9
Abbildung 4: Marktanteile der Verfahren zur Oberflächenreinigung.....	10
Abbildung 5: Übersicht eingesetzter Reinigungsverfahren in der Oberflächentechnik und Verweis auf beschreibende Kapitel	11
Abbildung 6: Entwicklung des deutschen CKW-Gesamtmarktes von 1986-1997.....	13
Abbildung 7: Darstellung des Prozesses Reinigen aus produktionstechnischer Sicht	19
Abbildung 8: Einflussgrößen und deren Anteile auf das Reinigungsergebnis	19
Abbildung 9: Wirkungsweise der Komponenten eines Reinigers zur Reinigung	23
Abbildung 10: Übersicht Einflussfaktoren und Zielgrößen bei der industriellen Teilereinigung	25
Abbildung 11: Mehrstufige Fließspülverfahren.....	27
Abbildung 12: Input- und Outputgrößen eines Reinigungsprozesses und die entsprechenden Stoff- und Energieströme	28
Abbildung 13: Heißwasser-Vorentfettung als Vorreinigungsstufe zur Standzeitverlängerung wässriger Entfettungsbäder	34
Abbildung 14: Wirkbad-„Kaskade“ zur Standzeitverlängerung von Entfettungen	34
Abbildung 15: Demulgierend arbeitendes Entfettungsbad mit Gegenbehälter und Ölskimmer zur Regeneration	35
Abbildung 16: Prinzip der Permeation und Retention von Salz/Wasser und Kohlenwasserstoffen	36
Abbildung 17: Filtrationsverfahren in Abhängigkeit vom Trennschnitt.....	36
Abbildung 18: Badaufbereitung durch Kreislaufführung und Ultrafiltration.....	38
Abbildung 19: Kreislaufführung von Spülwasser durch Einsatz von Vakuumdestillation.....	39
Abbildung 20: Kreislaufführung des Spülwassers und Rückgewinnung des Reinigers durch Umkehrosmose.....	41
Abbildung 21: Modell der Stoffkreislaufschließung im Prozess des Reinigens.....	42
Abbildung 22: Zusammenhänge zwischen Management und operativen Bereich.....	49
Abbildung 23: Ablauf der Umweltleistungsbewertung nach DIN EN ISO 14031	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfahrenssystematik der Oberflächentechnik	2
Tabelle 2: Kategorien von Reinigungsanwendungen und deren Anforderungen	8
Tabelle 3: Übersicht der rechtlichen Regelungen für die Reinigung mit HKW	12
Tabelle 4: Einteilungs- und Bezeichnungsvarianten für Reinigerprodukte	21
Tabelle 5: Produkt- und Anwendungsübersicht von wässrigen Reinigern	22
Tabelle 6: Bestandteile von Reinigern und deren Funktionen	22
Tabelle 7: Praktische Methoden zur wässrigen Reinigung von Oberflächen	24
Tabelle 8: Erfassungseinheiten und Möglichkeiten der Stoff und Energieströme	29
Tabelle 9: Summenparameter zur Beurteilung von Verschmutzung eines Abwassers	32
Tabelle 10: Prinzipielle Technologien zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit	33
Tabelle 11: Aussagen zum Stand der Technik beim Prozess des wässrigen Reinigens	45
Tabelle 12: Erfahrungswerte zum Verbrauch an Stoffen und Energie beim wässrigen Reinigen bei Anlagen nach Stand der Technik	46
Tabelle 13: Forschungsprojekte zur Thematik Reinigen in der Oberflächentechnik mit technologischen und/oder ökologischen Anspruch	47
Tabelle 14: Gruppen von Stakeholdern und verbundene Sachzielkategorien	53
Tabelle 15: Überblick der gesetzlichen Regelungen für Unternehmen, die wässrige Reinigungsprozesse betreiben	54
Tabelle 16: Kennzahlen für die Zielkategorie Abwasser	57
Tabelle 17: Kennzahlen für die Zielkategorie Wasser	58
Tabelle 18: Kennzahlen für die Zielkategorie Abfall	58
Tabelle 19: Kennzahlen für die Zielkategorie Energie	58
Tabelle 20: Kennzahlen für die Zielkategorie Effizienz	59

Abkürzungsverzeichnis

AOX	Adsorbable Organic Xenon (absorbierbare organische Halogenverbindungen)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BREFS	Best Available Techniques Reference Documents
BVT	Beste Verfügbaren Techniken
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
CKW	Chlorkohlenwasserstoffe
ChemG	Chemikaliengesetz
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
EOX	Extractable Organic Halogen
EDTA	Komplexbildner Ethylendiamintetraessigsäure auch Ethylendiamintetraacetat
EU	Europäische Union
DGO	Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
Fn.	Fußnote
HKW	Halogenierte Kohlenwasserstoffe
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control = Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung -> IVU-Richtlinie
IVU – Richtlinie	Richtlinie über die integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung -> IPPC
KSS	Kühlschmierstoff
KW	Kohlenwasserstoff
KWH	Kohlenwasserstoff hochsiedend
KWL	Kohlenwasserstoff leichtflüchtend
KrW- /AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
NWM	nicht wassermischbar
O-KW	Oxygenierte Lösemittel
POX	Purgeable Organic Halogen

PVD	Physical vapour deposition (deutsch: physikalische Dampf- abscheidung)
RO	reverse osmosis
TC	Total Carbon
TIC	Total Inorganic Carbon
TOC	Total Organic Carbon
UF	Ultrafiltration
UO	Umkehrosmose
VE - Wasser	Vollentsalztes (Wasser)
VOC	Volatile Organic Compounds (flüchtige Lösungsmittel)
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WM	wassermischbar
WRMG	Wasch- und Reinigungsmittelgesetz
WZ 93	Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes Deutschland

Symbolverzeichnis

A_{AS}	Anteil der gereinigten Fläche, die nicht der geforderten Reinigungsqualität entsprach an der insgesamt gereinigten Fläche (oder Volumen bzw. Stückzahl)
CO_2	Kohlendioxid
c_S	Auslaufkonzentration der Abwasserinhaltsstoffe
c_{Si}	durchschnittliche Konzentration des Schadstoffes i im Abwasser
E_a	jährlich verbrauchte Energiemenge
E_{ai}	an einzelnen Energieträgern i verbrauchte Energie
E_S	spezifischer Energieverbrauch pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil
E_{ES}	durch Energiesparmaßnahmen eingesparte Energie
H_2O	Wasser
\dot{m}_S	Schadstofffracht
m_{RMS}	spezifische Menge eingesetzter Reinigungsmittel pro gereinigtem m^2 Oberfläche
m_A	Abfallmenge
m_{AV}	verwertbare Abfallmenge
m_{As}	spezifische Abfallmenge pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil
$n_{Gü}$	Anzahl der Grenzwertüberschreitungen
n_{GS}	Anzahl gefährlicher Substanzen im Abfall
V_A	Wasserbedarf des Reinigungsprozesses
V_{Ab}	Anfall von Abwasser aus dem Reinigungsprozess
$V_{Abwasser}$	Abwassermenge
V_{As}	spezifischer Abwasseranfall pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil
V_{WK}	Menge des im Kreislauf geführten Wassers
$Z_{W/WK}$	Verhältnis des Wasserverbrauches zur Menge des im Kreislauf geführten Wassers
$Z_{AV/A}$	Verhältnis verwertbarer Abfallmenge zu Gesamtabfallmenge

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik der Bewertung von Reinigungsprozessen im Bereich der Oberflächentechnik aus ökologischer Sicht. Dabei sollen Möglichkeiten zum Einsatz integrierter Umweltschutztechnologien aufgezeigt werden. Ziel ist es außerdem, zusammenfassende Aussagen über den bisherigen Einsatz dieser Umweltschutztechnologien zu gewinnen, vorhandene Schwachstellen zu identifizieren und daraus mögliche Maßnahmen zur Beseitigung dieser bzw. den weiteren Forschungsbedarf herzuleiten. Dabei sollen bereits entwickelte aber auch neue Technologien in die Untersuchung einbezogen werden.

Zur Abgrenzung des zu untersuchenden Gebietes soll die Oberflächentechnik als Branche in das Wirtschaftssystem eingeordnet und hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Bedeutung untersucht werden. Die Reinigung als ein bedeutender Verfahrensschritt der Oberflächentechnik wird anschließend hinsichtlich der heute wichtigsten Verfahren systematisiert. Auf diese Weise wird ein zusammenfassender Überblick über diese angewandten Verfahren gegeben. Gleichzeitig erfolgt eine kritische Betrachtung aus ökologischer Sicht sowie eine Einschätzung zur heutigen und zukünftigen Bedeutung zum Einsatz der verschiedenen Reinigungsverfahren.

Das Verfahren des wässrigen Reinigens stellt heute die am häufigsten genutzte Anwendung der eingesetzten Reinigungsverfahren in der Oberflächentechnik dar. Deshalb wird es im Rahmen dieser Arbeit einer tiefergreifenden Betrachtung unterzogen. Ziel dieser Analyse ist eine technologische Systematisierung des wässrigen Reinigens und die Betrachtung der Stoff- und Energieströme. Erst auf dieser Grundlage kann das Feld der anwendbaren Umweltschutztechnologien erschlossen werden. Eine sich anschließende Untersuchung des Standes der Technik soll aufzeigen, inwieweit integrierte Umweltschutztechnologien dabei bereits zum Einsatz kommen.

Zum Abschluss dieser Arbeit erfolgt eine Betrachtung des Prozesses wässriges Reinigen aus ökologischer Sicht. Zu dessen ökologischer Beurteilung wird das Verfahren der Umweltleistungsbewertung nach DIN 14031 vorgestellt sowie ein Vorschlag zum Einsatz möglicher Umweltkennzahlen zur Umsetzung gegeben. Außerdem werden ökologische Schwachstellen aufgeführt, um aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen Handlungsansätze für die weitere Forschung und Entwicklung zu diesem Verfahren abzuleiten.

2 Oberflächentechnik und Reinigung

In den folgenden Kapiteln wird der Arbeit ein Rahmen und ein Überblick zur aktuellen Situation in der Oberflächentechnik gegeben. Zunächst ist zu klären, was unter dem Begriff Oberflächentechnik zu verstehen ist, wie dieser im Zusammenhang zu dem Wirtschaftssystem steht und wie sich der Prozess- oder Arbeitsschritt Reinigung darin einordnen lässt.

2.1 Definition des Begriffes Oberflächentechnik

Unter dem Begriff Oberflächentechnik werden technische Verfahren zusammengefasst, die Oberflächen modifizieren, ohne dabei im Allgemeinen Formen der bearbeiteten Objekte zu ändern. Ziel oberflächentechnischer Verfahren ist es, gewünschte Oberflächeneigenschaften unterschiedlicher Materialien, wie Metalle oder Kunststoffe zu erzeugen. Dabei erfüllen diese Eigenschaften verschiedene Funktionen, wie Korrosionsbeständigkeit, Verschleißbeständigkeit oder optische Gestaltung, die für die Weiterverarbeitung oder den späteren Gebrauch der Produkte von Bedeutung sind.¹

Oberflächentechnischen Verfahren werden unterschiedliche Fertigungsverfahren zugeordnet: Trennen, Stoffeigenschaften ändern und Beschichten. Zur besseren Unterscheidung werden bei diesen Fertigungsverfahren der Oberflächentechnik Oberflächenvorbereitung, Oberflächenbehandlung und Oberflächenbeschichtung differenziert.² Tabelle 1 gibt eine Verfahrensübersicht.

		Verfahrensschritt		
		Oberflächenvorbereitung	Oberflächenbehandlung	Oberflächenbeschichtung
Verfahrensart	mechanisch	(Gleit-) Schleifen, Bürsten, Polieren, Strahlen, Entgraten		Plattieren, Auftragschweißen
	thermisch	Flammstrahlen, reduziertes Glühen, Flammgrundieren	Randschichthärten	Feuerverzinken, Thermisches Spritzen
	chemisch	Reinigen, Entfetten, Beizen, Brünieren, Ätzen	Phosphatieren, Chromatieren, Anodisieren,	Lackieren, Bekleben, Bedrucken, Galvanisieren
	plasmachemisch	Plasmaätzen, Ionenätzen	Plasmabehandeln, Ionenimplantieren	PVD- / CVD-Verfahren

Tabelle 1: Verfahrenssystematik der Oberflächentechnik
(in Anlehnung an Feßmann, J. (1999) S. 445)

Der Prozess des Reinigens bzw. des Entfettens, welcher Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sein soll, dient somit der Oberflächenvorbereitung für nachfolgende Prozesse. Er hat entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Endproduktes.

1 Vgl. Feßmann, J. (1999) S. 444 sowie Müller, K.-P. (1999) S. 1.

2 Vgl. ebenda S. 445.

2.2 Einordnung der Oberflächentechnik in das Wirtschaftssystem

Durch die Definition des Begriffes Oberflächentechnik wird deutlich, dass unter ihm eine Vielzahl von Verfahren eingeordnet werden können, die für unterschiedlichste Materialien und Produkte in den verschiedensten Wirtschaftszweigen eingesetzt werden. Der Branche Oberflächentechnik ordnen sich im Allgemeinen meist Unternehmen zu, deren Kernleistungen die oberflächentechnischen Verfahren (Betreiber) oder die Bereitstellung der entsprechenden Technologie (z.B. Anlagenhersteller und Chemielieferant) bilden. Damit wird aber nur ein Teil der Anwender und Zulieferer oberflächentechnischer Verfahren erfasst. Durch die Integration entsprechender Verfahren in die Fertigungsprozesse der unterschiedlichsten Industriezweige ist eine direkte Zuordnung von Unternehmen zu einer Branche, die Oberflächentechnik anwendet und anbietet nicht möglich. Bestehende Nomenklaturen zur Erfassung statistischer Daten von Wirtschaftsbranchen gliedern sich nach produkt- und leistungsorientierten Aspekten. D.h. das oberflächentechnische Verfahren in einer Vielzahl von Unternehmen der Branchen, die in der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 93) des Statistischen Bundesamtes Deutschlands³ aufgeschlüsselt sind, angewandt werden.

Als zugehörig zur Branche Oberflächentechnik werden im Rahmen dieser Arbeit Unternehmen gesehen, die

- oberflächentechnische Prozesse als Kernkompetenz durchführen⁴,
- entsprechende Technologien in Form von Anlagen und Betriebsstoffen herstellen⁵ sowie
- Unternehmen bei denen die Oberflächentechnik nur ein Teilprozess ihrer Leistungserstellung ist⁶.

Durch den Schnittmengencharakter (vgl. Abbildung 1) der Oberflächentechnik in Bezug auf die WZ 93 können somit keine direkten Daten zur wirtschaftlichen Situationsbeschreibung der hier betrachteten Branche Oberflächentechnik vom Statistischen Bundesamt gewonnen werden.

³ Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ93) des Statistisches Bundesamtes Deutschland baut auf der durch EG-Verordnungen verbindlich eingeführten statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE) auf. Die WZ 93 ist online abrufbar unter: <<http://www.statistik-bund.de/allg/d/klassif/wz93.htm>>.

⁴ Dies trifft insbesondere für Galvaniken zu, die im Auftrag Oberflächenveredelung durchführen.

⁵ Hersteller von Anlagen und den Betriebsstoffen sind diejenigen, welche die Technologien anbieten und somit den Stand der Technik mitbestimmen.

⁶ Als Beispiel hierfür stehen die Maschinenbaubranche und die Fahrzeugbaubranche.

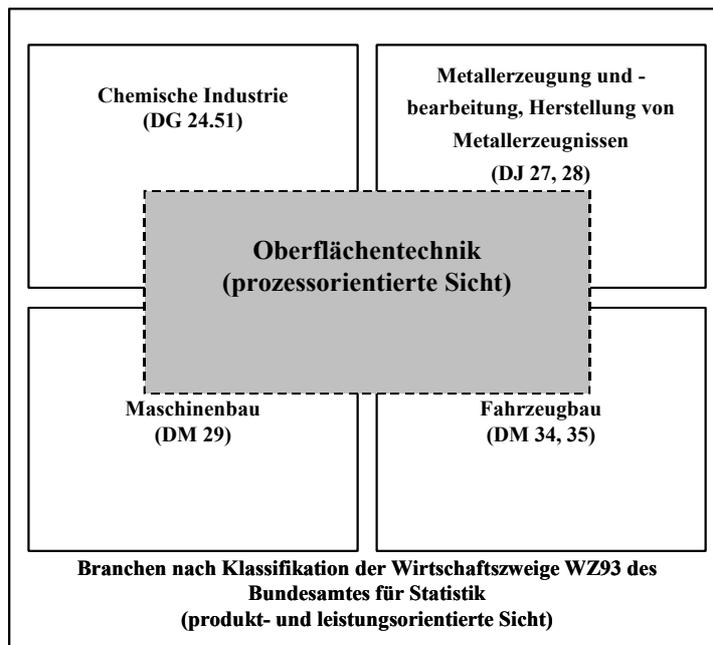


Abbildung 1: Einordnung Branche Oberflächentechnik zur Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 93)
(eigene Darstellung)⁷

Die Bandbreite der Branchen, die man zur Oberflächentechnik zählt und die Schwierigkeiten bei der Ermittlung von Wirtschaftsdaten wird auch durch eine Studie zur oberflächentechnologischen Industrie Österreichs bestätigt, bei der Galvaniken, Teile der metallverarbeitenden Industrie, Feuerverzinkereien, Beschichter, Unternehmen der Elektroindustrie⁸, die Automobilindustrie⁹ bis hin zur Stahlindustrie einbezogen wurden.¹⁰ Als einer der bedeutendsten Wirtschaftszweige in Europa und insbesondere in Deutschland gilt neben dem Fahrzeugbau, der Maschinenbau. Er nimmt Spitzenstellungen in Beschäftigung, Umsatz und Export ein.¹¹ Der Maschinenbau stellt für Industrieländer eine Schlüsselindustrie dar, die in alle Fertigungsprozesse hineingreift¹² und in der EU 8,2% der industriellen Produktion sowie 10,0% der industriellen Wertschöpfung ausmacht. Dabei nimmt der deutsche Maschinenbau mit einem Produktionsanteil von 41% eine führende Stellung innerhalb der EU ein. In dieser Branche erstellten im Jahre 1998 20.400 Unternehmen eine Produktion im Wert von 312 Mrd. Euro.¹³ Anlagen zur Oberflächenbehandlung werden als typischer Bestandteil eines Betriebes dieser Branche gesehen.¹⁴ Diese Fakten verdeutlichen die große Bedeutung oberflächentechnischer Prozesse für die Industrie und damit auch für die Wirtschaft innerhalb der Europäischen Union.

⁷ Eigene Darstellung, der Darstellung liegen nur die bedeutendsten Wirtschaftszweige (lt. WZ 93) für die Oberflächentechnik zugrunde.

⁸ Innerhalb des Zentralverbandes der Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. ZVEI (siehe Anhang 1) existiert ein eigener Fachverband Galvanotechnik.

⁹ Gerbitz, R. (1999) S. 78 ordnet „Der Reinigung der zahllosen zur Produktion eines Automobils erforderlichen Einzelteile in allen Phasen der Herstellung und des Zusammenbaus eine entscheidende Rolle zu“.

¹⁰ Vgl. dazu Mitterer, C.; Hoch, A.; Waldhauser, W. (2001) S. 363ff.

¹¹ Vgl. Wiechers, R. (1995) S. 8 ff.

¹² Vgl. Becker, S. (1995) S. 89ff.

¹³ Angaben laut VDMA (2001) (Hrsg.).

¹⁴ Vgl. Benz u.a. (1995) S.6 f.

2.3 Unternehmensstruktur in der Oberflächentechnik

In der Oberflächentechnik lassen sich die Unternehmen drei Hauptgruppen zuordnen. So gibt es in der Regel:

- Hersteller von Anlagen zur Durchführung der oberflächentechnischen Prozesse,
- Hersteller und Lieferanten der notwendigen Prozesschemie und
- die eigentlichen Nutzer oberflächentechnischer Prozesse.

In der letztgenannten Gruppe entstehen durch das Betreiben der Prozesse direkte Umwelteinwirkungen. Dabei werden diese größtenteils durch die genutzte Technologie, d.h. durch die Anlagentechnik und die Prozesschemie, bestimmt. Die Anlagenbetreiber sind den Folgen Ihres Handelns, also den wahrgenommenen Umwelteinwirkungen ausgesetzt und bestrebt die gesetzlichen Vorschriften zum Betrieb Ihrer Anlagen einzuhalten oder verfolgen sogar weitergehende Umweltziele. Welche Zielstellungen dabei existieren wird im Kapitel 5.2 näher untersucht. Durch das Verfolgen dieser Zielstellungen steigt die Nachfrage für umweltverträgliche Technologien zur Durchführung der oberflächentechnischen Prozesse bei Neu- oder Ersatzinvestition. Die Anlagenhersteller bieten Anlagen an, die nicht notwendigerweise dem Stand der Technik¹⁵ entsprechen, aber natürlich den gesetzlichen Anforderungen genügen. Dies ist auf die Art der Geschäftsbeziehung zurückzuführen, die

zwischen den Anlagenbetreibern und den Anlagenlieferanten herrscht. Für den Anlagenhersteller ist der Verkauf der Anlage aufgrund der langen Nutzungsdauern meist eine Art Einmalgeschäft, bei dem er auf bewährte und zuverlässige Technologien setzt. Neue innovative aber unausgereifte Technik stellt für den Anlagenhersteller ein gewisses Risiko durch Garantieleistung und Nachbesserung dar, das natürlich gemieden wird. Für Umweltschutztechnologien gibt es in dieser Branche Spezialunternehmen, die sich auf die Nachrüstung oder den Umbau von Anlagen mit einer oder wenigen Umweltschutztechnologien spezialisiert haben. Die Lieferanten der Prozesschemie dagegen setzen ihre Produkte kontinuierlich, entsprechend dem Verbrauch, bei den Betreibern ab. Somit stehen sie in ständigem Kontakt zu ihren Kunden, den Anlagenbetreibern. Die Lieferanten der Prozesschemie sind bestrebt, diese als Abnehmer zu halten, da ihre Prozesschemikalien auch gegen die der Mitbewerber ausgetauscht werden können. Der Umsatz der Chemielieferanten korreliert direkt mit der gelieferten Menge an Chemikalien, so dass diese nicht vordergründig an Einsparmassnahmen und Veränderungen an Prozessen zu deren Ungunsten interessiert sind. Zur Steigerung ihrer Marktanteile ist bei einigen Marktfolgern die Strategie zu beobachten, dass nicht mehr die Chemie als Produkt, sondern der Service zur Prozessbetreuung verkauft wird. Dabei bietet der Lieferant seinen Kunden die Qualität des Prozesses, d.h. die störungsfreie Prozessführung an und sorgt dafür, dass durch richtigen Einsatz der Chemie und entsprechende Überwachung der Prozessparameter das gewünschte Ergebnis zu günstigen Kosten erreicht wird. Mit dieser Strategie kann der Lieferant der Prozesschemie den Kunden stärker an sich binden und ihn bei seiner Prozessführung durch sein Detailwissen zu den einzelnen Prozessen optimal unterstützen.

¹⁵ Zur Definition des Standes der Technik vgl. Kapitel 4.4.

Ein Teil der Anlagenhersteller bietet außerdem Prozesschemie für seine Anlagen an, wobei dies meist nur Handelsware ist, die nicht zu seiner Kernkompetenz gehört.

Die sich daraus ergebende Struktur des Marktes für Oberflächentechnologie ist in Abbildung 2 dargestellt.

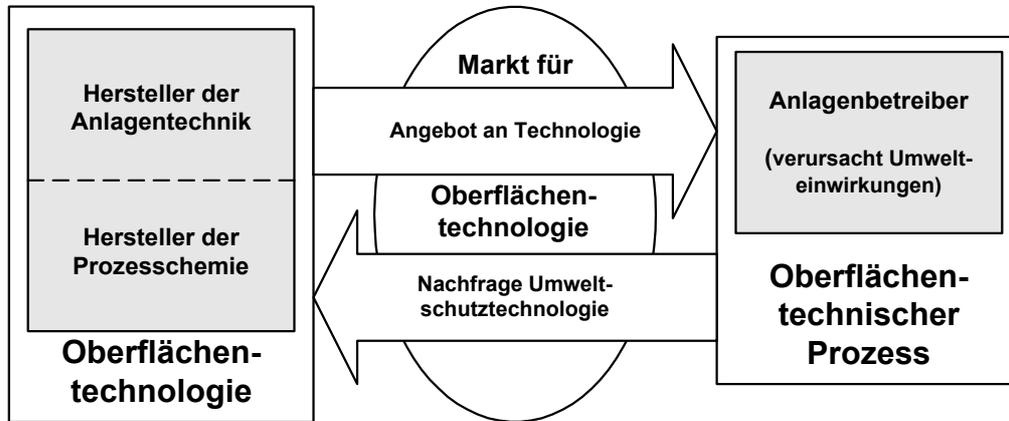


Abbildung 2: Struktur des Marktes für Oberflächentechnologie
(eigene Darstellung)

3 Prozess Reinigen

3.1 Definition des Prozesses Reinigen

Teile, die aus der Fertigung oder der Lagerung in den oberflächentechnologischen Bereich gelangen, tragen meist Rückstände aus der Bearbeitung, der Handhabung bzw. dem Transport oder sind zum Zwecke des Korrosionsschutzes befettet sowie teilweise korrodiert¹⁶. Diese unerwünschten Kontaminationen der Oberfläche, wie Fette, Öl, Rost, Staub, Abrieb, Schleifmittel, Poliermittel und weitere sind im Rahmen der Oberflächenvorbehandlung zu beseitigen¹⁷. Nur so kann optimale Qualität der nachfolgenden Oberflächenbehandlung und/oder Oberflächenbeschichtung gewährleistet werden.¹⁸ Diesen Zweck erfüllt der Reinigungsprozess, den ADAMS als „Entfernung aller wasserunlöslicher und wasserlöslicher Stoffe von der Oberfläche dadurch, dass in meist wässriger Lösung feste anorganische und organische Festkörper wegdispergiert¹⁹werden“ definiert.²⁰ Unter Entfetten versteht ADAMS „die Befreiung von echten und mineralischen Fetten, Wachsen und Polierrückständen von der Metalloberfläche mit wässriger Lösung“²¹. Schlussfolgernd kann der Begriff des Entfettens dem Reinigen subsumiert werden. Chemisch an das Metall gebundene Produkte wie Oxide, Zunder oder Korrosion werden durch Beizen, d.h. mit Einwirken von Säuren oder Säuregemischen, entfernt.²² Häufig werden diese Verfahren in einem Prozessbad kombiniert vorgenommen, so dass man dann zum Beispiel vom Beizentfetten spricht.

In der Praxis werden die Begriffe vom Metallentfetten und der Metallreinigung häufig synonym verwandt.²³ Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb auch keine strenge Trennung der Begriffe vorgenommen, da sich die Prozessführung im wesentlichen nicht unterscheidet.

3.2 Bedeutung und Einordnung des Prozesses Reinigen in die Oberflächentechnik

Der Prozessschritt des Reinigens beeinflusst meist nicht direkt die Eigenschaften der Erzeugnisse, er wird vielmehr durch vorangehende Stufen verursacht oder durch nachfolgende unverzichtbar. Dabei kann in Vor-, Zwischen- oder Endbehandlung unterschieden werden. Häufig kann es zu einer mehrfachen Reinigung im Produktionsfluss zur Fertigung von Produkten kommen.²⁴

Aufgabe des Reinigens bzw. Entfettens ist es, die Haftfestigkeit von Beschichtungssystemen zu gewährleisten.²⁵ Für Verbindungstechniken wie Kleben, Schweißen oder Löten sind saubere Oberflächen notwendige Voraussetzung²⁶. Die Reinigungsanwendungen können dabei

¹⁶ Vgl. Gerbitz, R. (1999) S. 78 sowie Jelinek, T. W. (1999) S. 16.

¹⁷ Vgl. Kaßner, W. (1997) S. 1.

¹⁸ Vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 35.

¹⁹ Dispersionen sind Aufschlämmungen von Feststoffen, bei denen durch Zusatz von Stabilisatoren (Dispergierungsmittel) das Absetzen der festen Phase verzögert oder verhindert wird. Vgl. Lutter, E. (1990) S. 32.

²⁰ Adams, K. H. (1999) S. 5.

²¹ Ebenda S. 5.

²² Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 16.

²³ Vgl. Ebenda S. 16.

²⁴ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 16 und S. 22f.

²⁵ Vgl. Gaida, B. (1989) S. 138, S. 148.

²⁶ Vgl. Specht, H.; Eckhardt, T. (1999) S. 20.

unterschiedlichen Gruppen zugeordnet werden, welche unterschiedlichen Anforderungen bedingen (vgl. hierzu Tabelle 2). Die Anforderungen an das Reinigungsergebnis bestimmen maßgeblich das Verfahren und den Aufwand für die Reinigung. Grundsätzlich ist nur so sauber wie nötig zu Reinigen²⁷, um Ressourcen, Zeit und Kosten zu sparen. Im Idealfall wäre eine Reinigung gar nicht notwendig. Dies bedarf aber völlig neuer Ansätze in der gesamten Fertigungskette. Erste Überlegungen führten bereits dazu, dass unnötige Zwischenlagerungen, die Korrosionsschutz bedingen oder Verschmutzungen hervorrufen können, vermieden werden. Damit könnten durch Verbesserung der Fertigungslogistik einzelne Reinigungsstufen entfallen. Weitere neue Ansätze, welche dazu führen, dass Reinigung eingespart werden kann, sind im Kapitel 3.3 beschrieben.

Reinigungskategorie	Beschreibung	Anforderungen
Teilereinigung in der mechanischen Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> - Die Teilereinigung erfolgt als Zwischen- oder Endreinigung vor Verfahrensschritten wie spanabhebende Bearbeitung, Umformen, Schweißen, Lötten, Montage, Messen, Kontrolle, Verpacken 	<ul style="list-style-type: none"> - Die erforderlichen Reinheitsgrade sind meist nicht besonders hoch, vielmehr sollen grobe Verunreinigungen wie Öle, Fette oder feste Partikel entfernt werden. - Die anfallende Menge an Teilen ist dagegen groß, da die Teile unter Umständen mehrmals gereinigt werden.
Reinigung vor einer Oberflächenbehandlung	<ul style="list-style-type: none"> - Die Reinigung vor einer Oberflächenbehandlung wie Phosphatieren, Metallabscheidung, Lackieren, Konservieren, Vakuumbeschichten, Metallfärben oder Emaillieren beeinflusst stark deren Qualität - Meist wird die Reinigung in mehreren Teilschritten vollzogen, um die Oberfläche optimal vorzubereiten 	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr hoher Reinheitsgrad erforderlich - Prozesse der Oberflächenbehandlung werden durch Verschmutzungen gestört, behindert oder verlangsamt. - Der Reinigungsprozess muss zuverlässig in der angestrebten Qualität geführt werden, um spätere Mängel an den Produkten auszuschließen
Reinigen vor einer Wärmebehandlung	<ul style="list-style-type: none"> - Die Reinigung vor einer Wärmebehandlung, die zum Entspannen oder zum Erreichen eines bestimmten Gefügestandes (Härten) durchgeführt wird, entfernt Rückstände, die negative Wirkung auf das Material haben können. - Geringe Fettrückstände können bei hochlegierten Cr- und Cr-Ni-Stählen zur Aufkohlung der Stahloberfläche führen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Anforderungen können ähnlich hoch wie bei der Reinigung vor Oberflächenbehandlungen sein. - In der Regel wird in Teilereinigungsanlagen gereinigt, wobei der geforderte Reinheitsgrad durch höhere Temperatur, mehr Bewegung oder längere Expositionszeit erreicht wird.
Reinigen zur Wartung und Reparatur	<ul style="list-style-type: none"> - Gebrauchsteile aus Betrieben, die gewartet oder repariert werden sollen, müssen vorher gereinigt werden. - Verschmutzungen sind dann z.B. Fett, Öl, Wachse, Lacke, Ölkohle, metallische Schichten, Zunder oder Rost. 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Anforderung an die Reinheit sind meist nicht besonders hoch, jedoch sind die Verschmutzung in der Regel sehr stark.
Reinigen zur Sicherung der Funktion	<ul style="list-style-type: none"> - Verunreinigungen der Oberflächen von Teilen, Konstruktionen und Systemen beeinträchtigen deren Funktion und sind zu entfernen. - Beispiele sind Anwendungen von Hydraulik oder Pneumatik bei Luftfahrt und Eisenbahn 	<ul style="list-style-type: none"> - Der erforderliche Reinheitsgrad kann je nach Anwendung stark unterschiedlich sein.

Tabelle 2: Kategorien von Reinigungsanwendungen und deren Anforderungen

(eigene Darstellung basierend auf Jelinek, T. W. (1999) S.17ff.)

²⁷ Vgl. Hater, W. (1993) S. 10 sowie Leudolph, J; Sommer, J. (1998) S. 81.

3.3 Neuere Ansätze zur Vermeidung von Reinigung in der Oberflächentechnik

Der Gedanke als beste Alternative zur Reinigung keine Reinigung durchzuführen²⁸, findet seine Umsetzung in Verfahren, wie Trockenbearbeitung oder Fertigungsintegrierte Oberflächenbehandlung (FIO).

Bei der Trockenbearbeitung von Werkstoffen wird durch Verfahrensumstellung, der Einsatz von Kühl- und Schmiermittel überflüssig.²⁹ Dazu werden andere Werkzeuge und Maschinen eingesetzt sowie die Bearbeitungsgeschwindigkeiten angepasst. So bleiben die Werkstücke frei von Kühlschmierstoffen, und können mit einfachen Methoden wie Druckluftreinigung oder Sandstrahlen gesäubert werden. Die damit verringerte Belastung der betrieblichen Abwässer mit Kühlschmierstoffen hat gleichzeitig geringere Kosten der Abwasserbehandlung und Entsorgung zur Folge.

Der Ansatz der FIO integriert die Oberflächenbehandlung in die mechanische Fertigung. Dort werden in sogenannten Reaktoren die Teile direkt nach der Bearbeitung beschichtet, nachdem sie gereinigt, gespült und getrocknet wurden. Mit dieser Verfahrensweise können Fertigungsschritte und Chemikalien eingespart werden. Dabei entstehen neben wirtschaftlichen vor allem auch ökologische Vorteile. Erste Anlagen dieser Art werden in Forschungsprojekten zur Weiterentwicklung dieser Technologie betrieben.³⁰ Ein erster Schritt zu dieser Art der Fertigung sind technologisch optimierte Fertigungsabläufe und aufeinander abgestimmte Einsatzstoffe. So konnte mit gezielter Auswahl eines Kühlschmierstoffes direkt nach der Bearbeitung die Lackierung mit einem modernen Anstrichstoff ohne qualitative Verschlechterung erfolgen. Damit konnten Fertigungsschritte eingespart werden³¹. Abbildung 3 verdeutlicht diesen Aspekt.

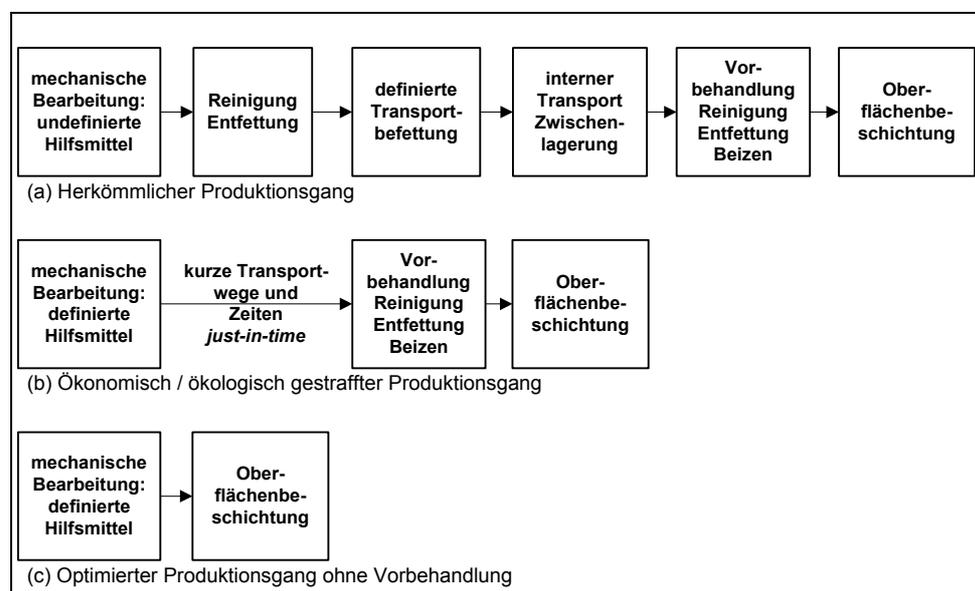


Abbildung 3: Vermeidung unnötiger Zwischenbehandlungsmaßnahmen durch sinnvollen Produktionsgang

(Quelle: Winkel, P. (1997) S. 14.)

²⁸ Vgl. Jostan, J. L.; Braun, G. u. Buchmann, S. (1995) S. 2254 sowie Winkel, P. (1997) S. 4.

²⁹ Vgl. Hellstern, R. u.a. (1995) S. 16 sowie Winkel, P. (1997) S. 4.

³⁰ Vgl. Weber; u.a. (2000) S. 3071ff.

³¹ Vgl. Winkel, P. (1997) S. 4.

3.4 Einordnung und Bedeutung angewandter Reinigungsverfahren

Zur Reinigung von Oberflächen werden unterschiedlichste Verfahren und Reinigungsmedien angewandt. Die Einteilung der Verfahren wird durch Zuordnung zu Gruppen von Reinigungsmedien vorgenommen. Für den größten Teil der Reinigungsaufgaben sind wässrige Reinigungsverfahren im Einsatz.³² So wurde der Marktanteil wässriger Reinigungsverfahren in Deutschland für 1999 auf 65% geschätzt. Weitere 30% werden durch Verfahren unter Einsatz von Lösungsmitteln abgedeckt (vgl. Abbildung 4)³³. Wobei hier unter dem Begriff Lösungsmittel Stoffe verstanden werden, die in der Lage sind, die vorliegenden Verunreinigungen auf der Oberfläche zu lösen und dadurch zu entfernen. Die restlichen Anwendungen werden durch Spezialverfahren und neue Methoden abgedeckt.

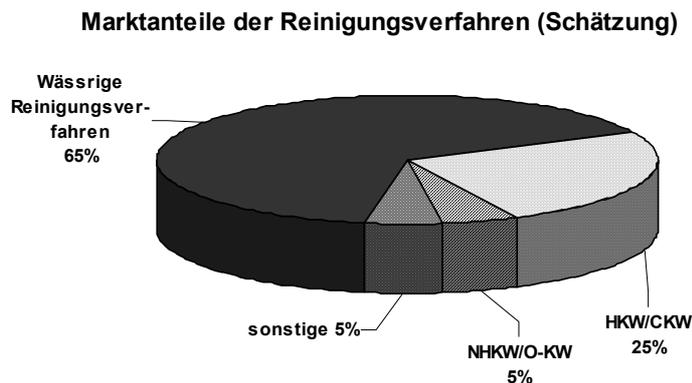


Abbildung 4: Marktanteile der Verfahren zur Oberflächenreinigung
(Quelle: Grün, R. (1999) S. 1836³⁴)

Der gegenwärtige Zustand der genutzten Verfahren im Verhältnis zueinander wurde durch drastische Eingriffe des Gesetzgebers, mit der Absicht der Erreichung geforderter umweltpolitischer Ziele, hervorgerufen. Die Gründe und die entsprechenden Regelungen werden im Kapitel 3.4.1.1 dieser Arbeit dargelegt. Die folgende Darstellung zeigt eine Übersicht der verschiedenen Reinigungsverfahren.

³² Laut Gerbitz, R. (1999) S. 78 werden in der Automobilindustrie überwiegend wässrige Reinigungsverfahren eingesetzt.

³³ Vgl. Specht, H.; Eckhardt, T. (1999) S. 20 sowie Grün, R. (1999) S. 1836.

³⁴ Die Angaben beruhen auf Schätzungen des Fachausschusses Reinigen der DGO (Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.) siehe auch Anhang 1.

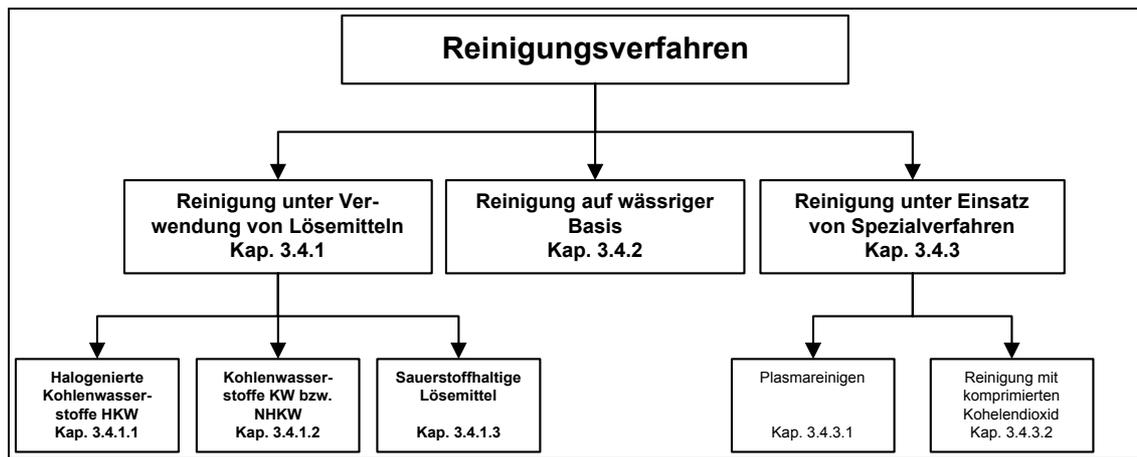


Abbildung 5: Übersicht eingesetzter Reinigungsverfahren in der Oberflächentechnik und Verweis auf beschreibende Kapitel
(eigene Darstellung)

3.4.1 Reinigen mit Lösungsmitteln

Das Reinigen mit Lösungsmitteln lässt sich in drei Stoffgruppen unterteilen:

- Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) als Hauptgruppe der halogenierten³⁵ Kohlenwasserstoffe (HKW),
- Kohlenwasserstoff-Lösemittel (KW-Lösemittel bzw. NHKW für nichthalogenierte Kohlenwasserstoffe) unterschieden in leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (KWL) und hochsiedende Kohlenwasserstoffe (KWH)³⁶ und
- sauerstoffhaltige Lösemittel („O-KW“; Oxygenierte Lösemittel).³⁷

In den folgenden Kapiteln werden diese näher erläutert.

3.4.1.1 Der Einsatz halogener Kohlenwasserstoffe (HKW)

Den Vorteilen des Reinigens mit Lösungsmitteln der HKW, insbesondere mit CKW wie universelle Einsetzbarkeit, schnelles Trocknen der Teile und geringe Anforderungen an die Anlagentechnik stehen erhebliche Nachteile durch die Gefährdung der Umwelt und des Menschen³⁸ entgegen. So werden die Emissionen halogener Lösungsmittel in die Atmosphäre, in das Grundwasser sowie die Toxizität als kritisch eingeschätzt.³⁹ Dies führte zu einer strengen Umweltgesetzgebung für die Nutzung von HKW und die entsprechenden Anlagen. Die relevanten Vorschriften und Gesetze finden sich in Tabelle 3. Mit diesen Regelungen⁴⁰ wird bei ordnungsgemäßem Betrieb der Anlagen ein hoher Umweltschutzstandard erreicht, der aber zu hohen Investitions- und Betriebskosten führt.

³⁵ Halogeniert bedeutet, dass die chemische Bindung ein oder mehrere Halogene enthält. Halogene (Salzbildner) sind die Elemente der 7. Hauptgruppe des Periodensystems, wie z.B. Fluor F, Chlor Cl oder Brom Br. Vgl. dazu Lindner, E. (1989) S. 23, S. 111 und S. 231f.

³⁶ Vgl. Jostan, J. L.; Braun, G. u. Buchmann, S. (1995) S. 2247.

³⁷ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 49.

³⁸ Einen ausführlichen Überblick über die Auswirkungen von Chlorverbindungen auf die menschliche Gesundheit geben Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1995) in ihrer Studie zu dieser Thematik.

³⁹ Vgl. Adams, K. H. (1999) S. 17f. sowie Müller, K.-P. (1999) S. 42.

⁴⁰ Für Anlagen zur Reinigung mit halogenierten Lösungsmitteln gibt es für Betrieb, Ausführung und Sicherheitsanforderungen die DIN EN 12921-4.

Eine nachweisbare Gesundheitsgefährdung⁴¹ oder negative Umwelteinwirkungen durch den Einsatz der noch erlaubten HKW können deren Einsatzverbot zur Folge haben. Die derzeitige Regeneration und Wiederverwendung der eingesetzten HKW's ist ebenso kritisch zu betrachten, da nicht die Gesamtmenge, der in die Oberflächenbehandlung verkauften Stoffe im Kreislauf geführt wird. Ein großer Teil wird zur Anwendung für andere Aufgaben exportiert, was dann zu unkontrollierten sogenannten Zweitemissionen führt.

Den ergriffenen umweltpolitischen Maßnahmen (Tabelle 3) ist mit dem daraus resultierenden sinkenden Absatz von CKW-Lösemitteln (vgl. Abbildung 6) der Erfolg zu bestätigen.⁴²

Gesetz/ Vor- schrift/Verordnung	Inhalt / Bezug	Bedeutung für die Reinigung mit HKW
Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenwasserstoffen – 2. BImSchV) – HKW-Verordnung	„gilt für die Errichtung, die Beschaffung und den Betrieb von Anlagen, in denen unter Verwendung von Lösemitteln, die Halogenkohlenwasserstoffe ... enthalten, ... die Oberfläche von Gegenständen oder Materialien, insbesondere aus Metall, ..., gereinigt, ..., entfettet wird (Oberflächenbehandlungsanlagen),...“ §1 (1)	<ul style="list-style-type: none"> - es „dürfen keine anderen leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe als Tetrachlorethen, Trichlorethen oder Dichlormethan in technisch reiner Form eingesetzt werden. Den Halogenkohlenwasserstoffen dürfen keine Stoffe zugesetzt sein oder zugesetzt werden, die als krebserzeugend eingestuft sind.“ §2 (1) - Im §3 werden strenge Grenzwerte und Vorschriften für die Errichtung und den Betrieb vorgeben, die die Emissionen nach dem Stand der Technik beschränken sollen. Im wesentlichen sind die Anlagen so zu kapseln und auszulegen, das auch beim Öffnen der Anlage kein Lösemittel entweichen kann. - weitere §§ regeln die Messung, Eigenkontrolle, Überwachung und den Umgang mit leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen.
Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenerter Lösemittel (HKWAbfV)	-Gilt für Lösemittel, die nach Gebrauch als Reststoff verwertet oder als Abfall entsorgt werden müssen und die in Anlagen eingesetzt werden, in denen die Oberfläche..., insbesondere aus Metall ..., gereinigt,..., entfettet,... wird.“ §1 (1)	<ul style="list-style-type: none"> - Lösemittel sind nach Gebrauch getrennt zu halten § 2 (1) - Lösemittel dürfen nicht nach Gebrauch untereinander oder mit anderen Stoffen vermischt werden § 2 (2) - Lösemittel entsprechend der Verordnung müssen vom Vertreiber zurückgenommen werden. § 3 - Der Betreiber hat gegenüber dem Vertreiber eine Erklärung über die Art und Verwendung der Lösemittel abzugeben. § 4
Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie)	- Diese Richtlinie bezweckt die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung für in deren Anhang genannte Tätigkeiten. Darunter fallen im Punkt 6.7. des Anhanges I auch Anlagen zur Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen unter Verwendung von org. Lösungsmitteln, insbesondere zum Entfetten oder Reinigen mit einer Verbrauchskapazität von mehr als 150 kg Lösemitteln pro Stunde oder von mehr als 200 t pro Jahr	<ul style="list-style-type: none"> - Forderung nach Einsatz der besten verfügbaren Technik, was auch die Substitution des Verfahrens bedeuten kann - ansonsten greift eher die HKW-Verordnung siehe oben

Tabelle 3: Übersicht der rechtlichen Regelungen für die Reinigung mit HKW

(eigene Darstellung)

⁴¹ Für Trichlorethen, als einen der drei noch erlaubten HKW, besteht der Verdacht, Nierenkrebs zu verursachen. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, diesen Stoff als „eindeutig als krebserzeugend ausgewiesener Arbeitsstoff“ einzustufen, was dessen Anwendungsverbot nach sich ziehen könnte. Vgl. dazu Schwarz, W. (1995) S. 573f.

⁴² Vgl. Angerer, G. u.a. (1997) S. 29f.

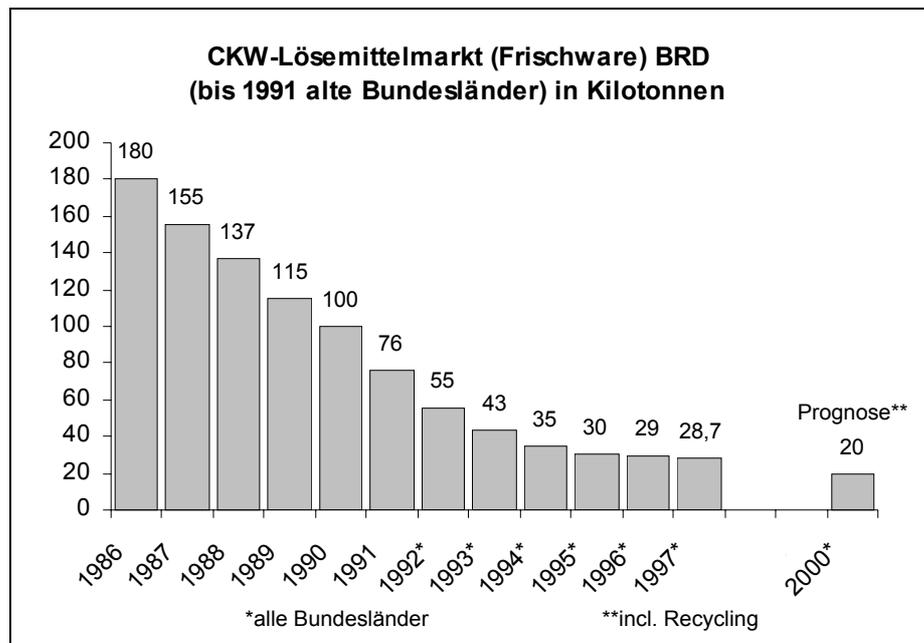


Abbildung 6: Entwicklung des deutschen CKW-Gesamtmarktes von 1986-1997

(Quelle: Jelinek, T. W. (1999) S.48)

Da auf einige Anwendungen von HKW in der Oberflächenbehandlung zur Zeit nicht verzichtet werden kann, muss es ein zukünftiges Ziel sein, den Einsatz dieser Lösemittel durch andere, optimierte und neu entwickelte Verfahren zu substituieren.

3.4.1.2 Der Einsatz von Kohlenwasserstoffen (NHKW bzw. KW)

Unter Kohlenwasserstoffen versteht man im allgemeinen die Stoffe, die sich nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff zusammensetzen. Für die Reinigung werden flüssige Kohlenwasserstoffe eingesetzt, die je nach Zweck als niedrig siedende, mittel siedende oder hoch siedende Produkte Anwendung finden. KW-Reiniger sind Vielstoffgemische unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe mit einem bestimmten Siedebereich und keinem definierten Siedepunkt. Da diese Lösemittel Raffinerieprodukte sind, schwankt ihre Zusammensetzung und damit deren Eigenschaften.⁴³ Als flüchtige organische Verbindungen (VOC)⁴⁴ sind sie maßgeblich an der Bildung bodennahen Ozons beteiligt, welches in höheren Konzentrationen die menschliche Gesundheit⁴⁵ schädigen und auf das Pflanzenwachstum hemmend wirken kann.

Das EU-weite Umweltziel der Emissionssenkung von VOC um 70-80% im Zeitraum von 1990-2010 soll anhand der Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG (VOC-Richtlinie)⁴⁶ erreicht werden. Die Hauptursache für VOC-Emissionen in Deutschland ist die Lösemittelanwendung, die auch in der Oberflächenreinigung durch den Einsatz von halogenfreien organischen Kohlenwasserstoffen in großem Maße stattfindet. So wurden im Jahr 1998 im Bereich

⁴³ Vgl. Jelinek, T. W. (1999)S. 50ff.

⁴⁴ VOC ist die englische Abkürzung für Volatile Organic Compounds was man im Deutschen allgemein als Lösemittel bezeichnet.

⁴⁵ Die Gesundheitsrisiken hängen dabei von den Inhaltsstoffen der KW-Reiniger ab. Vgl. Forner, L. (1999) S. 40.

⁴⁶ Die Richtlinie 1999/13/EG vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösemittel entstehen (VOC-Richtlinie) ist bis zum 31.03.2001 in nationales Recht zu überführen. Vgl. Mahrwald, B. (2000).

allgemeine industrielle Metallentfettung 27.200t KW eingesetzt, von denen 12.000t emittierten und 15.200t entsorgt wurden.⁴⁷ Die VOC-Richtlinie führt Emissionsgrenzwerte ein, die nur durch Betrieb in geschlossenen Anlagen erreicht werden können und auch messtechnisch zu überwachen sind. Dies bedarf ähnlich hoher Investitionen, wie beim Einsatz von HKW-Reinigern. Allerdings gilt die VOC-Richtlinie nur für Anlagen, deren Jahresverbrauch die Menge von 2t/a⁴⁸ übersteigt.

Als technische Nachteile von KW-Reinigern sind:

- die Brennbarkeit,
- die niedrigen Siede- und Flammpunkte verbunden mit den erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen⁴⁹ und
- die teilweise schlechte Trocknung der gereinigten Teile

zu nennen.

Eine weitere Unsicherheit besteht hinsichtlich der gesundheitlichen Wirkungen der KW, insbesondere der aromatenhaltigen KW, die noch nicht ausreichend untersucht wurden.⁵⁰ Werden in Zukunft Risiken für den Menschen festgestellt, kann dies zu rechtlichen Regelungen, z.B. über das Chemikaliengesetz (ChemG), führen.

In einem ökologischen Vergleich von CKW, KW und wässrigen Reinigern, den LEISEWITZ und SCHWARZ im Auftrag des Umweltbundesamtes durchführten, wird die Belastung der Umwelt durch KW-Reinigung ähnlich der des Einsatzes wässriger Verfahren gesehen. Aufgrund des relativ kleinen Anteils von KW-Reinigungsanlagen⁵¹ und neuer Regelungen, die zu einer erheblichen Verbesserung der Umweltverträglichkeit führen, wird dieses Verfahren in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Durch Verfahrensführung nach Stand der Technik und Umsetzung der VOC-Richtlinie können die Emissionen bei der Metallentfettung um 60% gesenkt werden.⁵²

3.4.1.3 Der Einsatz oxygenierter bzw. sauerstoffhaltiger Lösemittel

Eine weitere Gruppe von Lösemitteln stellen die sauerstoffhaltigen Lösemittel dar. Das sind Verbindungen, die neben Kohlenstoff und Wasserstoff auch Sauerstoff enthalten.

In der Oberflächentechnik werden diese brennbaren Flüssigkeiten,⁵³ zu denen Alkohole, Ketone oder Ester gehören, nur selten eingesetzt. Dem Vorteil des schnellen Abtrocknens des Alkohols bzw. Ketons steht der Nachteil des geringen Flammpunktes gegenüber, der eine

⁴⁷ Vgl. Schwarz, W.; Leisewitz, A. (2000) S. 21ff.

⁴⁸ Dieser Grenzwert gilt für den Gesamtverbrauch für eine Betriebsstätte unabhängig von der Anzahl der Anlagen oder Anwendungen, d.h. wenn die beschaffte Menge im Geschäftsjahr diesen Wert übersteigt, gilt die VOC-Richtlinie.

⁴⁹ Sicherheitsanforderungen für Reinigungsanlagen in denen brennbare Flüssigkeiten verwendet werden, finden sich in der DIN EN 12921-3 und DIN EN 12921-1.

⁵⁰ Vgl. Winkel, P. (1998) S. 2018.

⁵¹ Die größte Menge von KW-Lösemitteln wird bei der manuellen Reinigung eingesetzt. Vgl. Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1999) S. 29.

⁵² Vgl. ABAG-Abfallberatungsagentur (Hrsg.) (1995) S. 54.

⁵³ Entsprechende Sicherheitsvorkehrungen werden in der DIN EN 12921-1 und der DIN EN 12921-3 beschrieben. Diese Normen sind Herstellervorschriften für die Herstellung neuer Anlagen. Vgl. Hohmann, S. (1995) S. 318f.

besondere Anlagentechnik erfordert. Ester bieten eine bessere Lösekraft, werden aber durch Wasser in Anwesenheit von Laugen oder Säuren leicht gespalten.⁵⁴

Sauerstoffhaltige Lösemittel werden z.B. in der optischen und feinmechanischen Industrie in geringem Ausmaß verwandt und hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt.

3.4.2 Reinigen auf wässriger Basis

Durch das Reinigen auf wässriger Basis werden heute die meisten Aufgaben in der Oberflächentechnik bewältigt. Dies resultiert maßgeblich aus der Entwicklung des Umweltbewusstseins und den daraus neu entstandenen rechtlichen Regelungen. Durch den Einsatz von Wasser als Lösemittel, das wesentlicher Bestandteil unserer natürlichen Umwelt ist, wird ein Großteil von Gefahren, die für Mensch und Natur entstehen können, von vornherein ausgeschaltet. Da aber das Reinigen nur mit Wasser die meisten Verunreinigungen nicht beseitigen kann, werden sogenannte Reinigungschemikalien, Wärme und mechanische Unterstützung eingesetzt, um das gewünschte Reinigungsergebnis zu erzielen. Die so zur Reinigung genutzte Reinigungslösung stellt damit ein Stoffgemisch aus Wasser, Reinigerchemikalien und den Verunreinigungen der gereinigten Objekte dar, das so nicht mehr in den natürlichen Kreislauf eingebracht werden darf. Deshalb werden verbrauchte Reinigungsbäder in Abwasserbehandlungsanlagen in einen Zustand versetzt, der eine Einleitung in die Kanalisation oder in Gewässer zulässt. Dabei zurückgebliebene Schlämme sind meist als Sondermüll zu entsorgen. Der höhere Energieeinsatz im Vergleich zur HKW-Reinigung führt durch die vermehrte Entnahme von Ressourcen folglich auch zu einer höheren Umweltbelastung, wobei aber in jedem Fall die Herkunft der Energie von Bedeutung ist.⁵⁵ Steigende Preise für die Ressource Wasser, das Abwasser und den Sondermüll verteuern das Reinigungsverfahren. Dies führt dazu, dass vermehrt Technologien zur Senkung der Input- und Outputströme oder zur möglichst kompletten Kreislaufführung des Prozesses nachgefragt bzw. angeboten werden. Die steigende Bedeutung eines integrierten Umweltschutzes beim Verfahren des wässrigen Reinigens wird auch durch die verstärkte Nachfrage nach Industrieabwasserbehandlungsanlagen, insbesondere zur Prozesswasserkreislaufführung, bestätigt. So werden von den Mitgliedsunternehmen des VDMA, die sich zum Bereich Wasser- und Abwassertechnik zählen, 8% der Aufträge für die Metallbe- und verarbeitende Industrie geleistet.⁵⁶

Da das Verfahren der wässrigen Reinigung/ Entfettung nicht wie die Lösemittelverfahren im Fokus der Öffentlichkeit stand oder steht, hielt die Entwicklung des Verfahrens bis zur Mitte der 90iger Jahre nur mit den technischen und rechtlichen Anforderungen Schritt. Die gesteigerte ökologische Betroffenheit der Branche Oberflächentechnik, die zu Forschungen bei anderen ökologisch risikvolleren Verfahren zu deren Verbesserung führte, brachte erst in jüngster Zeit Ansätze zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit des wässrigen Reinigens. Diese Ansätze werden im Rahmen dieser Arbeit im Kapitel 4 dargestellt und im Kapitel 5 einer ökologischen Betrachtung unterzogen.

⁵⁴ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 53f.

⁵⁵ Die Umweltbelastung hängt stark von der Art der Energiegewinnung ab. Regenerative Energie können Umweltauswirkungen sicherlich erheblich senken.

⁵⁶ Vgl. VDMA (2001b): Pressemeldung der Fachabteilung Wasser- und Abwassertechnik.

3.4.3 Spezialverfahren zur Reinigung von Oberflächen

Neben den oben beschriebenen, weitverbreiteten Verfahren zum Reinigen von Oberflächen existieren auch neuere Technologien, die am Anfangsstadium ihrer Entwicklung stehen und zukünftig in der Lage sein könnten, bestimmte Reinigungsaufgaben wesentlich umweltfreundlicher zu gestalten. Hierzu zählen das Reinigen unter Einsatz eines Plasmas und das Reinigen mit komprimiertem Kohlendioxid, die in den folgenden Unterpunkten kurz vorgestellt werden.

3.4.3.1 Das Plasmareinigen

Dieses Verfahren entfernt mit Hilfe eines Plasmas, das durch elektromagnetischer Felder im Vakuum von 0,1 bis 2 mbar oder unter Atmosphärendruck erzeugt wird, organische Verschmutzungen von Oberflächen. Unterschieden werden dabei das Niederdruckplasma-Verfahren (0,1-2 mbar) und das Korona-Entladungsverfahren.⁵⁷

Unter Zugabe von Sauerstoff oder geringen Mengen eines Edelgas/Sauerstoffgemisches⁵⁸ oxidieren die organischen Verunreinigungen zu Kohlendioxid CO₂ und Wasser H₂O.⁵⁹ Anorganische Verunreinigungen lassen sich teilweise durch Reduktion entfernen.

Vorteile des Plasmareinigungsverfahrens sind die trockene Prozessführung bei der nur gasförmige Reaktionsprodukte entstehen und die damit verbundene Einsparung des energieaufwändigen Trocknungsvorganges sowie die Eignung für komplizierte Teilegeometrien⁶⁰. Auch die hochgradige Aktivierung der Oberflächen für nachfolgende Beschichtungen sprechen für dieses Reinigungsverfahren.⁶¹ Es wird deshalb überwiegend zur Nachreinigung bzw. zur Feinreinigung nach anderen Hauptreinigungsverfahren eingesetzt, mit dem Ziel Oberflächen für spezielle Behandlungs- und Beschichtungsverfahren vorzubereiten, die eine geringe Restverschmutzung verlangen (z.B. PVD).⁶²

Aufgrund der eingeschränkten Einsatzmöglichkeiten zur universellen Reinigung, insbesondere bei dicken Kontaminationsschichten, Partikelverunreinigungen und der Nichteignung zum Entfernen vieler anorganischer Verunreinigungen⁶³ von Metalloberflächen wird dieses Verfahren in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.⁶⁴ Trotz seiner derzeit geringen Bedeutung kann jedoch dieses Verfahren durch Weiterentwicklung zukünftig durchaus dazu beitragen, reinigungsbedingte Umweltbeeinflussungen zu senken.⁶⁵

3.4.3.2 Das Reinigen mit überkritischem bzw. komprimiertem Kohlendioxid

Das Reinigen mit komprimiertem Kohlendioxid stellt eine neue Entwicklungsrichtung dar, die problematische konventionelle Reinigungsmedien ersetzen

⁵⁷ Vgl. Landau, U. (2000) S. 171.

⁵⁸ Vgl. Jostan, J. L.; Braun, G. u. Buchmann, S. (1995) S. 2253 sowie Grünwald, H.; Stipan, G. (1994) S. 616.

⁵⁹ Vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 64f.

⁶⁰ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 170.

⁶¹ Vgl. Jostan, J. L.; Braun, G. u. Buchmann, S. (1995) S. 2253 sowie Grünwald, H.; Stipan, G. (1994) S. 618 und auch Oehr, Ch.; Vohrer, U. (1995) S. 23.

⁶² Vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 65.

⁶³ Vgl. Oehr, Ch.; Vohrer, U. (1995) S. 23.

⁶⁴ Vgl. Specht, H.; Eckhardt, T. (1999) S. 21.

⁶⁵ Vgl. Kovacs, R. (2001) S. 15.

könnte. Der wesentliche Vorteil dieses Verfahrens besteht in der Anwendung des ungiftigen, nicht brennbaren und leicht verfügbaren Kohlendioxides, das im Kreislauf geführt leicht regeneriert werden kann.

Bei dieser Reinigungstechnologie wird das Gas Kohlendioxid CO₂ unter hohem Druck verwendet. Auf diese Weise werden die Eigenschaften eines guten Lösungsmittels, ähnlich denen des CKW, erlangt.⁶⁶ Die Lösekraft für organische Stoffe, wie Fette und Öle, nimmt das CO₂ bei einem Druck oberhalb von 100 bar an und kann über Variation von Druck und Temperatur gesteuert werden. Folglich wird bei hohem Druck gereinigt und anschließend unter geringerem Druck die Regeneration des Lösungsmittels Kohlendioxid durch Abscheidung der abgereinigten Stoffe vorgenommen.⁶⁷

Den größten Nachteil bildet der für dieses Verfahrens notwendige Druck. Dies erfordert den Einsatz einer teuren Anlagentechnik und setzt die Druckfestigkeit des zu reinigenden Gutes voraus.⁶⁸ Die aufgeführten Gründe schränken die Einsetzbarkeit dieser Technologie ein. Das noch in der Entwicklung befindliche Verfahren ist trotzdem geeignet, gewisse Reinigungsaufgaben umweltfreundlicher durchzuführen. Seine praktische Anwendbarkeit und die Akzeptanz im Markt der Reinigungstechnologien muss noch nachgewiesen werden.⁶⁹

3.5 Schlussfolgerungen aus der Betrachtung der Reinigungsverfahren

Die Betrachtung der einzelnen Hauptkategorien von Reinigungsverfahren hat ergeben, dass Unternehmen das wässrige Verfahren am häufigsten einsetzen. Ein Grund dafür ist, dass an Verfahren, die Lösungsmittel insbesondere HKW nutzen, hohe Anforderungen an den Betrieb der Anlagen bestehen. In Folge des daraus resultierenden überwiegenden Einsatzes des wässrigen Verfahrens und der damit verbundenen mengenmäßig größeren potentiellen Umwelteinflüsse, rückt dieses Verfahren in den Betrachtungsmittelpunkt der Arbeit.

In zwei großen Forschungsprojekten⁷⁰ zum ökologischen Vergleich der beschriebenen Hauptverfahren wurden leichte ökologische Vorteile für das wässrige Verfahren festgestellt. Dies bestätigt die Entwicklung in die richtige Richtung auf dem Markt für Reinigungstechnologie. Trotzdem ist zu vermuten, dass auch beim Verfahren des wässrigen Reinigens ökologisches, eventuell ökonomisches Verbesserungspotential vorhanden ist. Dies wird in den folgenden Kapiteln näher untersucht, indem der Prozess des Reinigens systematisiert, Stoff- und Energieflüsse dargestellt und potentielle Technologien zur Verbesserung betrachtet werden. Im Kapitel 5 erfolgt dann eine ökologische Betrachtung dieses Prozesses.

⁶⁶ Vgl. Dahmen, N.; Schön, J.; Schmieder, H. (1999) S. 1993.

⁶⁷ Vgl. ebenda S. 1994.

⁶⁸ Vgl. Jostan, J. L.; Braun, G. u. Buchmann, S. (1995) S. 2253.

⁶⁹ Vgl. Dahmen, N.; Schön, J.; Schmieder, H. (1999) S. 1996.

⁷⁰ Zum einen im Projekt von Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) durch Stoffstromanalyse und Umweltbelastungsvergleich und auch im Verbundprojekt „Ganzheitliche Bilanzierung / Bewertung von Reinigungs- / Vorbehandlungstechnologien in der Oberflächenbehandlung“ (Hellstern, R. u.a. (1995)).

4 Wässriges Reinigen/Entfetten als Prozess

Die Prozessbetrachtung des Verfahrens des wässrigen Reinigens/Entfettens bildet die Grundlage für die Aufgliederung und Zuordnung von Stoff- und Energieströmen zu den einzelnen Teilprozessen. Damit können diese Ströme quantitativ im Prozess verfolgt und Ansätze zu deren Veränderung im Sinne der Verbesserung des Gesamtprozesses aus ökonomischer und ökologischer Sicht gewonnen werden.

Als Reinigungsprozess wird der gesamte Prozess verstanden, durch den Schmutz und andere Verunreinigungen in einem oder mehreren Schritten von der Oberfläche entfernt werden, um den geforderten Reinheitsgrad zu erhalten.⁷¹ Dies erfolgt durch chemische, mechanische und/oder thermische Einwirkung. Die wässrige Reinigung erfüllt dabei eine Vielzahl verschiedenartiger Aufgaben in der Oberflächentechnik. Deshalb wurden viele Varianten von wässrigen Reinigern entwickelt, welche optimal für die spezifischen Probleme abgestimmt sind. Die entsprechende Einteilung wird im Kapitel 4.1.1.1 dargelegt. Als Ergebnis des Prozesses Reinigens/Entfettens sollen Teile vorliegen, die einer bestimmten geforderten Reinigungsqualität entsprechen. Aus wirtschaftlichen Gründen wird angestrebt, die Zeit für diesen Vorgang so klein wie möglich zu halten, um den gewünschten Durchsatz bei möglichst geringer Kapazität dieser Prozessstufe zu erreichen. Damit ist der Prozess technisch so auszulegen und zu steuern, dass er mindestens diesen Anforderungen entspricht.

Die Qualität des Reinigungsergebnisses ist aus folgenden Gründen eine wichtige Zielgröße dieses Prozesses. Zum einen bestimmt der Grad der Reinheit der Oberfläche den Aufwand der Reinigung, d.h. die notwendige Anlagentechnik sowie den Verbrauch an Stoffen und Energie. Zum anderen steigt mit höheren Anforderungen an das Ergebnis auch die notwendige Konstanz der Zielgröße Reinigungsqualität. Letzteres ist durch die große Bedeutung einer sauberen Oberfläche für Nachfolgeprozesse zur Weiterverarbeitung von Produkten bedingt. D.h. die Qualität der Oberfläche bestimmt wesentlich die Endqualität von Produkten mit. Im Falle von Problemen bei der Reinigung werden Produktmängel erst häufig nach weiteren Bearbeitungsstufen bemerkt, was zur Nach- bzw. Überarbeitung oder zum Verwerfen führen kann. Schlimmere wirtschaftliche Folgen für ein Unternehmen können unentdeckte Qualitätsmängel haben, wenn diese erst in der Nutzungsphase zu Funktionsstörungen oder Ausfällen führen und nicht die erwartete Leistung erbringen. Unter diesen Aspekten stellt die Qualität der Reinigung ein Parameter dar, der bei hohen Ansprüchen entweder durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen oder/und kontinuierlich zu überwachen ist.

Der Prozess Reinigen stellt also einen Bearbeitungsschritt dar, bei dem unter Einsatz von Betriebsstoffen, wie Wasser und Reiniger sowie Energie, ein verunreinigtes Objekt durch bestimmte Verfahrensweisen so gereinigt wird, dass man ein festgelegtes Reinigungsergebnis erreicht. Die dabei eingesetzten Betriebsstoffe verlieren ihre Wirksamkeit und sind deshalb kontinuierlich oder diskontinuierlich⁷² zu ersetzen (vgl. nachfolgende Abbildung 7). Die dabei

⁷¹ Vgl. DIN EN 12921-2 S. 6.

⁷² Ob die Kondukte kontinuierlich oder zu bestimmten Zeitpunkten aus dem Prozess genommen werden, wird durch die Prozessgestaltung festgelegt.

anfallenden Kondukte⁷³ müssen nachbehandelt oder aufbereitet werden, um sie entsorgen oder zu anderen Zwecken weiterverwenden zu können.

Der Reinigungsprozess und der zu erzielende Reinheitsgrad werden durch mehrere Prozessparameter, wie Temperatur, Behandlungsdauer, Reinigerchemie, mechanische Unterstützung und weitere beeinflusst (vgl. Abbildung 8)⁷⁴. Diese können sowohl durch Verfahrenswahl und Verfahrensdurchführung so festgelegt werden, dass der Prozess wirtschaftlich und ökologisch optimal betrieben wird.

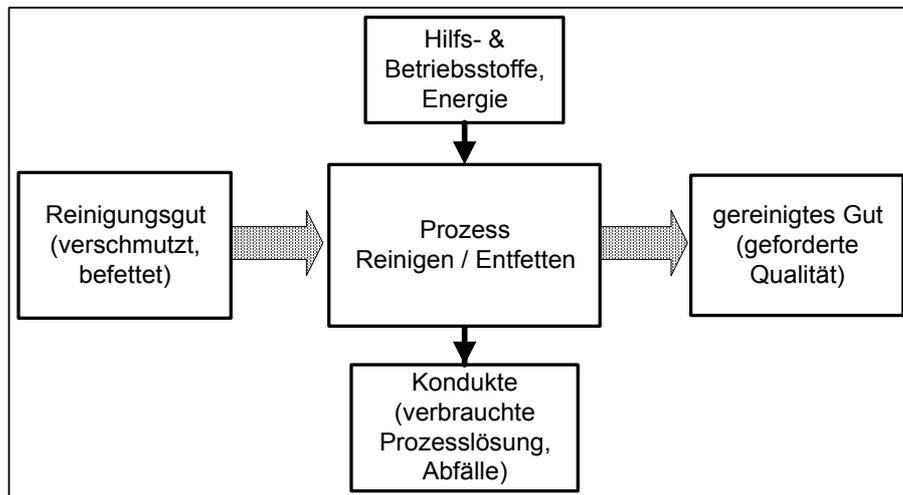


Abbildung 7: Darstellung des Prozesses Reinigen aus produktionstechnischer Sicht
(eigene Darstellung)

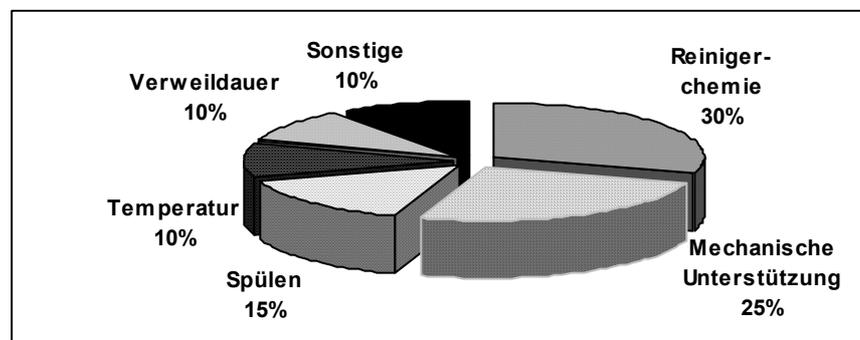


Abbildung 8: Einflussgrößen und deren Anteile auf das Reinigungsergebnis
(Quelle: Specht, H.; Eckhardt, T. (1999) S. 21)

Der Prozess des Reinigens umfasst mehrere Teilprozesse, die zu einer sauberen Oberfläche führen (vgl. Kapitel 4.1).

4.1 Prozessführung beim wässrigen Reinigen

Der Prozess der Reinigung eines verschmutzten Teils umfasst 3 Hauptstufen:

- Reinigen,
- Spülen sowie

⁷³ Vgl. zum Begriff Kondukte Günther, E. (1994) S. 97.

⁷⁴ Vgl. auch Adams, K. H. (1999) S. 30, sowie Jelinek, T. W. (1999) S. 84.

- Trocknen.

Das Trocknen kann entfallen, wenn nasschemische Arbeitsgänge folgen und die Verschleppung des Spülwassers in den nachfolgenden Prozess beherrscht wird. Bei einigen oberflächentechnischen Behandlungen wie Phosphatieren oder Beizen wird das Reinigungsbad auch kombiniert oder durch Ergänzung eines entsprechenden zusätzlichen Bades betrieben. Die für die Hauptstufen eingesetzte Technik und die Verfahrensweisen führen zu vielfältigen Variationsmöglichkeiten, die im Rahmen dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden können. In den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.1.1 wird deshalb ein kurzer Überblick zu den Verfahren zum Reinigen, Spülen und Trocknen sowie zur Reinigerchemie gegeben.

Für die Beurteilung der unterschiedlichen Verfahren aus ökonomischer und ökologischer Sicht sind die Auswirkungen eines Prozesses auf Kosten und Umwelt relevant. Diese werden durch die Stoff- und Energieströme des Prozesses hervorgerufen. Deshalb erfolgt im Kapitel 4.2 eine nähere Betrachtung der Ein- und Ausgangsgrößen des Prozesses Reinigen. Außerdem wird dort die Systemgrenze, die diesen Prozess abgrenzt und einordnet, festgelegt.

4.1.1 Stufe Reinigen

Die Stufe Reinigen hat den größten Einfluss auf das Prozessergebnis und stellt deshalb die zentrale Aufgabe dar. Beim Reinigen von Teilen wird Reinigungslösung auf Teile aufgebracht, die den Schmutz löst und aufnimmt⁷⁵. Die wässrige Reinigungslösung enthält meist mehrere chemische Substanzen, die diesen Vorgang unterstützen, bzw. erst ermöglichen. Im Kapitel 4.1.1.1 werden diese Reinigerbestandteile und deren Wirkungen dargelegt sowie ein Einteilungsverfahren der vielfältigen Reiniger aufgeführt. Der Reinigungsvorgang an sich kann durch unterschiedliche Verfahren vorgenommen werden (vgl. Kapitel 4.1.1.2).

Auf die für die Reinigungsleistung sowie die Stoff- und Energieströme wichtigen Anwendungsparameter geht Kapitel 4.1.1.3 ein.

4.1.1.1 Reinigungschemie

Reiniger für wässrige Reinigung werden entsprechend ihrem besonderen Anwendungszweck eingeteilt und bezeichnet (vgl. Tabelle 4). Die angebotenen Produkte sind Stoffgemische unterschiedlicher Zusammensetzung, die auf die entsprechenden Reinigungsaufgaben optimal abgestimmt sind (vgl. Tabelle 5). Dabei übernehmen die einzelnen Bestandteile dieses Gemisches verschiedene Funktionen (vgl. Tabelle 6).

Die Wirkungsweise der wässrigen Reinigung wird in Abbildung 9 illustriert. Für die komplexen Vorgänge beim Reinigen und Entfetten von Oberflächen verweist der Verfasser auf die entsprechende Fachliteratur.⁷⁶

⁷⁵ Vgl. Lutter, E. (1990) S. 41.

⁷⁶ Quellen hierfür sind: Lutter, E. (1990), Jelinek, T. W. (1999), Müller, K.-P. (1999) und Adams, K. H. (1999).

Eine wichtige Eigenschaft von Reinigungssystemen mit Auswirkungen auf die Verfahrensweisen der Badpflege bzw. Kreislaufführung ist die Emulsionsstabilität⁷⁷ des eingesetzten Reinigers. Dabei wird in emulgierende und demulgierende bzw. nichtemulgierende Systeme unterschieden. In beiden Fällen bilden sich nach Ablösen der Öle und Fette von den Oberflächen Emulsionen. Bei demulgierenden Reinigern sind diese aber nicht stabil und es kommt zur Trennung der Phasen. Dabei steigen die Öle und Fette zur Badoberfläche auf und können dort entfernt werden. In Bädern mit stabilen Emulsionen findet eine Anreicherung statt. Bei der späteren Entsorgung der Emulsion können die Phasen (Wasser und Öl) durch chemische Spaltung wieder getrennt werden. Mit geeigneten Badpflegemaßnahmen (siehe Kapitel 4.3) lässt sich die Konzentration der Öl- und Fettanteile so beeinflussen, dass die Badstandzeiten⁷⁸ verlängert werden können. Praktische Untersuchungen zeigten aber, dass die Reinigungsleistung von emulgierenden Reinigern trotz Regenerierung sinkt⁷⁹ und somit die Nutzungsdauer des Bades begrenzt ist.

Einteilung nach	Arten
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzreiniger • Tauchreiniger • Ultraschallreiniger • Elektrolytische Reiniger
pH-Wert ⁸⁰	<ul style="list-style-type: none"> • stark saure Reiniger (pH < 4)⁸¹ • schwach saure Reiniger (4 < pH < 6,5) • Neutralreiniger Reiniger (6,5 < pH < 7,5) • schwach alkalische Reiniger (7,5 < pH < 9) • stark alkalische Reiniger (pH > 9)
Metall, das zu Reinigen ist	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrmetallreiniger • Zinkreiniger • Aluminiumreiniger • Kupferreiniger
Produktform	<ul style="list-style-type: none"> • Fester Reiniger (Pulverform) • Flüssiger Reiniger

Tabelle 4: Einteilungs- und Bezeichnungsvarianten für Reinigerprodukte
(in Anlehnung an Jelinek, T. W. (1999) S. 73f.)

⁷⁷ Emulsionen sind flüssige Zwei- oder Mehrstoffsysteme miteinander nicht mischbarer Flüssigkeiten, die sich von Suspensionen dadurch unterscheiden, dass sowohl der dispergierte (fein verteilte) Stoff als auch das Lösungsmittel flüssig sind. Vgl. Lutter, E. (1990) S. 36. Die zerteilte Flüssigkeit, bei der Entfettung meist Öl, als innere, das Lösungsmittel Wasser dagegen als äußere Phase bezeichnet wird. Die Stabilität der Emulsion ist dabei um so größer, je gleichmäßiger und kleiner die Tropfengröße der inneren Phase ist. Vgl. Gaida, B. (1989) S. 150.

⁷⁸ Unter Badstandzeit wird die Nutzungsdauer eines Prozessbades verstanden. Wird diese überschritten ist das Bad zu erneuern, was mit Zeitaufwand, entstehenden Abfällen und daraus resultierenden Kosten verbunden ist. Aus diesem Grund ist es Ziel, die Nutzungsdauer eines Bades durch geeignete Maßnahmen maximal auszudehnen.

⁷⁹ Vgl. Schmidt, K.-J. (1995) S. 725f.

⁸⁰ Der pH-Wert ist eine Maßzahl für die Konzentration von Wasserstoffionen in einer Lösung. Er ist der negative Exponent (negative Logarithmus) der Wasserstoffionenaktivität, also $\text{pH} = \lg a_{\text{H}^+}$. Bei einem pH-Wert von 7 liegt eine neutrale Lösung, bei $\text{pH} < 7$ eine saure und bei $\text{pH} > 7$ eine alkalische Lösung vor. Lindner, E. (1989) S.193.

⁸¹ Einteilung nach DIN EN 12921-2 S. 4.

pH	Inhaltsstoffe	Aggregatzustand	Temp. [°C]	Verfahren	Anwendung	Industrie
stark alkalisch	Alkali/Carbonate Silikate Phosphate Komplexbildner Netzmittel	Pulver und teilweise flüssig	> 40	Tauchen/Fluten Spritzen Bürsten Ultraschall Elektrolyse	Stahl starke Verschmutzung hohe Substratreinheit	Email Galvanik Bandstahl Reparaturbetrieb
schwach alkalisch	Phosphate Borate Carbonate Komplexbildner Netzmittel	Pulver	> 40	Tauchen/Fluten Spritzen Bürsten	Leichtmetalle, Cu, Zn schwache Verschmutzung hohe Substratreinheit	Galvanik Anodisieren Phosphatieren Beschichten
neutral	Netzmittel Korrosionsinhibitoren Phosphate Lösungsvermittler	flüssig	> 5	Tauchen/Fluten Spritzen Bürsten	empfindliche Oberflächen schwache Verschmutzung keine Wasserbenetzbarkeit Korrosionsschutz	Automobil Werkzeug Härten
schwach sauer	saure Salze Netzmittel	Pulver und teilweise flüssig	> 5	Tauchen/Fluten Spritzen Bürsten	Stahl, alkaliempfindliche Werkstücke Reinigen und Phosphatieren	Schienenfahrzeuge Straßenfahrzeuge
stark sauer	Säuren Netzmittel Inhibitoren	flüssig	> 20	Tauchen/Fluten Spritzen Elektrolyse	Metalle Dekapieren/Beizen Beizen und Entfetten	Email Galvanik

Tabelle 5: Produkt- und Anwendungsübersicht von wässrigen Reinigern

(Quelle: Kresse; J. (1997) S. 8)

Inhaltsstoffe	Beschreibung / Funktion
Tenside (grenz- oder oberflächenaktive Stoffe)	Tenside sind grenzflächenaktive Substanzen, die Grenzflächenspannung, bzw. Oberflächenspannung von Lösungen senken. Eingesetzt werden sie als Emulgatoren, Netzmittel und Dispergatoren. ⁸² Das eingesetzte Tensidgemisch hat wesentlichen Anteil an der Reinigung, dadurch, dass es die Benetzung von Oberflächen fördert und gelösten Schmutz emulgiert und/oder dispergiert. Tenside werden in Abhängigkeit ihres Aufbaus in anionaktive, kationaktive, amphotere und nichtionogene Substanzen unterschieden.
Builder (Gerüststoffe) (Salze)	Builder sind salzartige Bestandteile von Reinigern mit alkalischen (Hydroxid, Carbonat, Silikate) ⁸³ , sauren (Hydrogenphosphat) oder neutralen (Ortho-Phosphate, Polyphosphate) Eigenschaften. Diese Gerüststoffe haben die Aufgabe Festpartikel, aber auch Fetttropfen in der Waschflotte durch Dispergieren zu stabilisieren. ⁸⁴ Den Buildern werden auch die Komplexbildner zugeordnet (siehe unten).
Komplexbildner / Sequestermittel	Senkung der Wasserhärte zur Verhinderung von Kalkausfällungen ⁸⁵ und um mineralische, eigentlich wasserunlösliche Verschmutzungen in eine wasserlösliche Form zu bringen. Komplexbildner werden auch durch Verschmutzungen eingetragen. Ihre Anwendung wird kritisch eingeschätzt, da komplexierte Schwermetalle aus Abwässern entfernt werden können ⁸⁶ und so in die Umwelt gelangen ⁸⁷ . In lebenden Organismen werden diese Komplexe gespalten und es kommt zur Anreicherung von Schwermetallen. Sequestermittel verhindern, dass schwerlösliche Verbindungen beim späteren Spülen auskristallisieren durch Hemmung des Kristallwachstums. ⁸⁸
Korrosionsschutzmittel (Inhibitoren)	Korrosionsschutzmittel verhindern die Abtragung bzw. Korrosion von Oberflächen und sind auf bestimmte Materialien abgestimmt ⁸⁹ und werden auch teilweise in der letzten Spülstufe eingesetzt. ⁹⁰
Konservierungsstoffe (Biozide)	Konservierungsstoffe sind Stoffe zur Verhinderung von Keimbefall, Bakterien und Pilzen ⁹¹ . zum Schutz organischer Wirksubstanzen der Bäder. ⁹²

Tabelle 6: Bestandteile von Reinigern und deren Funktionen

(eigene Darstellung)

82 Vgl. Schmidt, K.-J. (1993) S. 1215 sowie Lutter, E. (1990) S. 38.
 83 Vgl. Brunn, K. (1993) S. 1158.
 84 Vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 39 sowie Feßmann, J. (1999) S. 408.
 85 Vgl. Schmidt, K.-J. (1993) S. 1215. sowie Seidel, R. (1995) S. 2093.
 86 Vgl. Hartinger, L. (1991) S. 206f.
 87 Vgl. Winkel, P. (1992) S. 20.
 88 Vgl. Glauser, H. (1993) S. 54.
 89 Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1995) S. 564.
 90 Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. 72f.
 91 Vgl. Breuer, W. (1999) S. 1346.
 92 Vgl. Kiechle, A. (2001) S. 62ff.

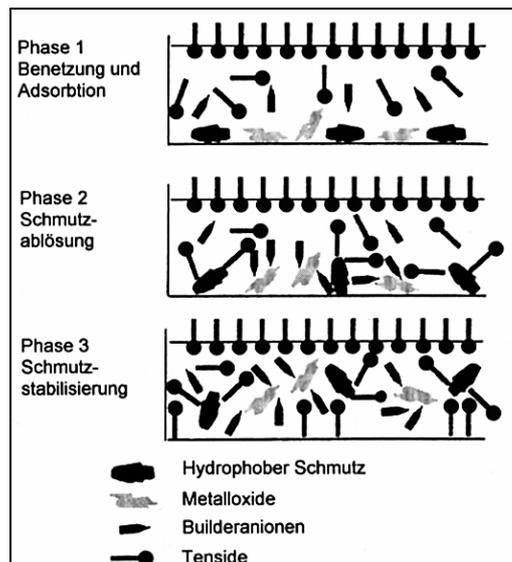


Abbildung 9: Wirkungsweise der Komponenten eines Reinigers zur Reinigung
(Quelle: aus Feßmann, J. (1999) S. 409 Original in Morlok, F. (1992) S. 4209)⁹³

4.1.1.2 Die Reinigungsverfahren

Zur Durchführung der Reinigung, d.h. der Schmutzablösung von Oberflächen werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Diese bedingen unterschiedliche Konstruktionen bzw. Anlagentechnik und werden abgestimmt auf Reinigungszweck und Reinigungsgut eingesetzt. Dabei erreichen sie unterschiedliche Reinigungsqualitäten und wirken sich auf die einzusetzenden Energien und Stoffe aus. Aus dieser Erkenntnis heraus kann mit der Wahl des richtigen Verfahrens bei Neuinvestitionen ein wesentlicher Schritt zur ökologisch-ökonomischen Optimierung getan werden. Die Zielstellungen des Reinigungsprozesses sind dabei zu beachten.

Einen Überblick über gängige Hauptverfahren gibt Tabelle 7.

⁹³ Hydrophob bedeutet wasserunlöslich bzw. wasserunfreundlich. Gemeint sind hier Öle und Fette.

Reinigungsverfahren	Beschreibung
Spritzreinigung	Spritzreinigung wird in Ein-, Mehrkammer- oder Spritzwaschanlagen durchgeführt ⁹⁴ . Die Reinigungslösung wird unter Druck durch Düsen auf die Werkstücke aufgetragen und fließt dann ab. Dies hat den Vorteil einer geringen Rückbeschmutzung, bedingt aber nichtschäumende Reiniger ⁹⁵ .
Tauchreinigung	Das Reinigungsgut wird in ein Bad mit Reinigungsflüssigkeit getaucht und bei höherer Temperatur längere Zeit behandelt. Die erforderliche Badbewegung kann durch Umpumpen der Reinigerlösung, durch Bewegen der Werkstücke oder Eintrag von Luftblasen erreicht werden. Eingesetzt wird auch das Druckumflutverfahren, bei dem mit Drücken von bis zu 20 bar und Spezialdüsen Strömungsverhältnisse erzeugt werden, welche die Reinigung unterstützen. ⁹⁶
Ultraschallreinigung	Die Ultraschallreinigung ist ein Tauchverfahren, bei dem die mechanische Komponente durch Ultraschallenergie eingetragen wird. Die Schallschwingungen werden auf die Reinigungsflüssigkeit übertragen und führen zu Kavitation ⁹⁷ an der Werkstückoberfläche. Dieser Effekt unterstützt das Ablösen von Verschmutzungen ⁹⁸ .
Elektrolytische Reinigung	Diese Form der Reinigung wird ebenfalls im Tauchverfahren eingesetzt und dient der Feinreinigung von Oberflächen. Die Werkstücke werden abwechselnd kathodisch und anodisch geschaltet, so dass der Schmutz durch die entstehenden Gase (Wasserstoff und Sauerstoff) abgesprengt wird. ⁹⁹

Tabelle 7: Praktische Methoden zur wässrigen Reinigung von Oberflächen
(eigene Darstellung)

4.1.1.3 Einfluss der Anwendungsparameter

Neben der Reinigungsqualität der Oberflächen sind auch die Kosten und der Umweltschutz Zielgrößen, die bei der Auslegung und dem Betrieb von Reinigungsanlagen zu berücksichtigen sind. Diese Zielgrößen können durch eine Reihe von Anwendungsparametern beeinflusst werden, (vgl. Abbildung 10). Dazu gehören unter anderem:

- Temperatur des Anwendungsbades
- Reinigerkonzentration
- Mechanik
- Verschmutzung der Teile.

Auf sie wird im folgenden näher eingegangen.

⁹⁴ Vgl. Adams, K. H. (1999) S. 29f.

⁹⁵ Vgl. Feßmann, J. (1999) S. 414.

⁹⁶ Vgl. Adams, K. H. (1999) S. 25f.

⁹⁷ Kavitation (Hohlraumbildung) führt zur kurzzeitigen Bildung von Dampfblasen durch Beschleunigung von Flüssigkeiten relativ zur Umgebung. Die durch Beschleunigung (hier mit Ultraschall) erzeugten Dampfbläschen fallen bei Druckänderung (hier das Wellental der Ultraschallschwingung) implusionsartig zusammen. Dies führt zu großen Druckstößen die Materialien angreifen können. Vgl. Möbius, A. (1995).

⁹⁸ Vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 62f.

⁹⁹ Vgl. Feßmann, J. (1999) S. 415. sowie Jelinek, T. W. (1999) S. 185f.

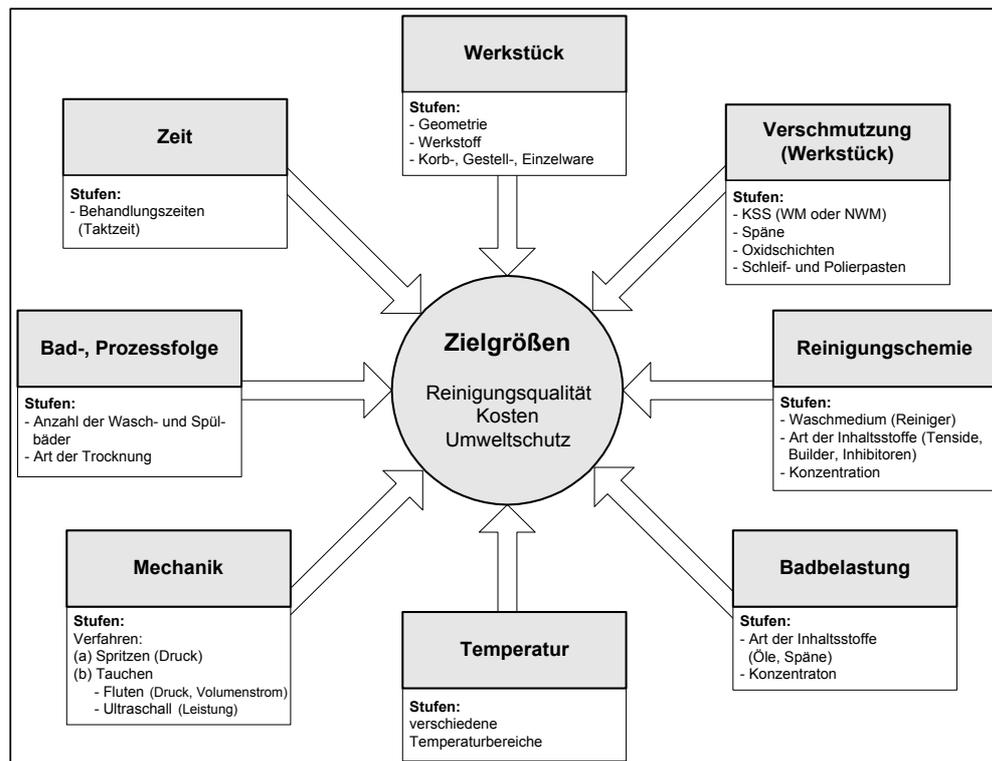


Abbildung 10: Übersicht Einflussfaktoren und Zielgrößen bei der industriellen Teilereinigung
(in Anlehnung an: Hellstern, R. u.a. (1995) S. 77)

- *Temperatur des Anwendungsbades*¹⁰⁰

Höhere Temperaturen senken die Viskosität von Fetten und Ölen, was deren Abreinigung fördert. Die Temperatur des Anwendungsbades sollte über dem Tropf- und Erweichungspunkt des organischen Schmutzes liegen. Die dazu benötigte Energie verhält sich proportional zur Temperatur. Dies stellt einen Anreiz zu möglichst geringen Badtemperaturen dar. Begrenzend wirkt auch, dass die Reinigungslösung bei zu hoher Eigenwärme beim Übergang zu nächsten Behandlungsschritten antrocknet und damit die Qualität nachfolgender Prozesse beeinträchtigt.

- *Reinigerkonzentration*

Eine ausreichende Konzentration des Reinigers ist Voraussetzung zum Erreichen des angestrebten Reinigungsergebnisses. Durch geeignete Badführung ist sicherzustellen, dass diese innerhalb festgelegter Grenzen gehalten wird, da durch Verbrauch, Verschleppung und Abbau die Reinigungskraftreserve (auch Waschkraftreserve) kontinuierlich abnimmt. Probleme bei der Reinigung können durch die Erhöhung der Konzentration des Reinigers oder einzelner Tensidkomponenten ausgeglichen werden.

- *Mechanik*

Der Begriff Mechanik im Zusammenhang mit Reinigen steht für den Eintrag mechanischer Energie in den Reinigungsprozess. Ziel ist es die Reinigung dadurch zu unterstützen. Dies wird auch durch die Reinigungsanlage (siehe Kapitel 4.1.1.2) und die Prozess-

¹⁰⁰ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 84f.

führung (z.B. mehrmaliges Tauchen) bestimmt und hat einen nicht unwesentlichen Einfluss auf das Reinigungsergebnis (vgl. Abbildung 8).

- *Verschmutzung der Teile*

Der vorliegende Verschmutzungsgrad und die Schmutzart bedingen die Anpassung der anderen Parameter, wie Reiniger, Prozessführung oder Temperatur. Starke Verschmutzung und mehrere Arten von Verschmutzung können den Badzustand und damit die Badqualität¹⁰¹ verschlechtern und sich somit negativ auf die Zielgrößen Reinigungsqualität und Kosten (geringere Badstandzeiten, Nachdosierung von Reiniger und größeres Abfall- und Abwasseraufkommen) auswirken.

Um eine Optimierung des Prozesses hinsichtlich einer oder mehrerer Zielgrößen sinnvoll zu gestalten, sind alle Parameter in Betracht zu ziehen. Die Variation nur eines Parameters führt nur in begrenztem Maße zur Verbesserung des Zielerreichungsgrades.¹⁰²

Mit den Anwendungsparametern wird deutlich, dass zur Prozessführung thermische Energie für die Badheizung, elektrische Energie zum Betrieb der Prozesstechnik (Pumpen, Bewegen der Teile oder mechanische Unterstützung) benötigt wird. Aus welcher Quelle der Bedarf an thermischer Energie gedeckt wird, hängt von den betrieblichen Gegebenheiten ab. Denkbar sind die Bereitstellung aus einer zentralen oder dezentralen Wärmeversorgung, der Einsatz von Wärmetauschern¹⁰³ oder der Einsatz elektrischer Energie. Als eingesetzte Betriebsstoffe sind der Reiniger und das Wasser zu nennen.

4.1.2 Stufe Spülen

Das Ziel des Spülens besteht darin, die Reinigungslösung vollständig von der Oberfläche zu entfernen, um deren Antrocknung oder eine Verschleppung in weitere Behandlungsbäder zu verhindern.¹⁰⁴ Mit den Werkstücken gelangt eine bestimmte Menge Reinigerlösung, die an der Oberfläche verbleibt, als Austrag aus dem Reinigungsbad in das Spülbad. Diesen Vorgang nennt man Verschleppung und er ist unerwünscht. Die Verschleppungsmenge ist abhängig von der Geometrie der Teile, den Abtropfzeiten, der Gestaltung der Übergänge und der Viskosität der Lösung. In der Literatur gilt die Menge von 100ml/m² Oberfläche als guter Schätzwert.¹⁰⁵ Vorrangiges Ziel ist es, die Verschleppungsmenge und die Konzentration der Wirksubstanz des Reinigungsbades darin so gering wie möglich zu halten, da sich dies direkt auf die benötigte Menge an Spülwasser auswirkt, die zum Erreichen der vorgegebenen Spülqualität erforderlich ist.¹⁰⁶ Eine Größe, die das Verhältnis der Konzentration im Spülbad zum vorangegangenen Prozess- oder Spülbad angibt, ist der Spülfaktor oder das Spülkriterium. Technologische Grundvarianten des Spülens sind:

- die Standspülung,
- die Fließspülung und

¹⁰¹ Vgl. Daiber, Th. (1993) S. 66.

¹⁰² Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 86.

¹⁰³ Vgl. Leichtfuß, F. (1991) S. 199.

¹⁰⁴ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 92.

¹⁰⁵ Vgl. ebenda S. 93. sowie ABAG-Abfallberatungsagentur (Hrsg.) (1995) S. 32.

¹⁰⁶ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 71.

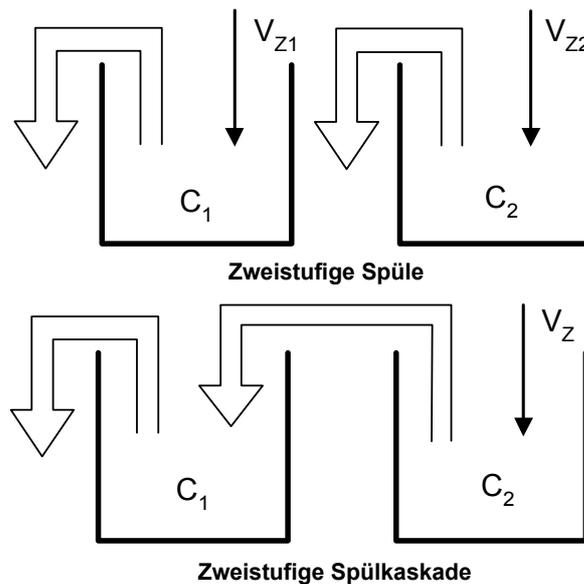
- die Spritzspülung.

Der Einsatz eines Standspülbades, bei dem das Spülwasser in bestimmten Abständen ersetzt wird¹⁰⁷, erweist sich zum Verdünnen der an den Teileoberflächen befindlichen Reinigerlösung als sinnvoll. Dabei findet eine Aufkonzentrierung der Spüllösung statt. Der Vorteil dieser Art von Spültechnik ist, dass in folgende Fließspülbäder weniger eingeschleppt wird und Verdunstungsverluste des Reinigungsbades daraus ausgeglichen werden können.¹⁰⁸

Die Alternative der Fließspülung, bei der kontinuierlich oder diskontinuierlich Wasser zugeführt wird, hat den Vorteil, dass die Konzentration der eingetragenen Substanzen konstant gehalten werden kann. Nutzt man den Überlauf einer nachfolgenden Spüle als Zulauf für ein Spülbad, spricht man von einer Kaskadenspülung¹⁰⁹ (vgl. Abbildung 11).

Das Spritzspülen kann vorteilhaft eingesetzt werden, wenn die räumlichen Verhältnisse beengt sind und der Platz für mehrere Spülbäder nicht vorhanden ist. Die Effizienz des Spritzspülens ist stark von der Geometrie der oberflächenbehandelten Teile und Warenträger abhängig. Auch beim Spritzspülen kann eine externe, ventilgesteuerte Kaskadenführung vorgenommen werden. Durch Anwenden der minimal notwendigen Wassermenge kann der Wasserverbrauch optimiert werden.¹¹⁰

Die für Stufe Spülen benötigte Energie und Stoffe beschränken sich auf elektrische Energie zum Antrieb von Pumpen und Automatisierungstechnik sowie auf Wasser zum Spülen.



V_Z, V_{Z1}, V_{Z2} : Zuläufe c_1, c_2 : Konzentrationen

Abbildung 11: Mehrstufige Fließspülverfahren

(Quelle: Jelinek, T. W. (1999) S. 95)

¹⁰⁷ Vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 121 sowie Gräf, R. (1998) S. 78ff.

¹⁰⁸ Vgl. Winkel, P. (1992) S. 69ff.

¹⁰⁹ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 94f.

¹¹⁰ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 87ff.

4.1.3 Stufe Trocknen

Wenn die gereinigten und gespülten Teile nicht nasschemisch weiterbearbeitet werden, müssen sie für die Einlagerung oder für weitere Prozesse getrocknet werden. Die Trocknung wird mit Umlufttrocknung realisiert und hat nach Schätzungen einen Anteil von mindestens einem Drittel des Energieverbrauchs des Gesamtprozesses Reinigen/Entfetten.¹¹¹ Dabei hängt der notwendige Energieeinsatz auch mit der Eigenwärme der Werkstücke zusammen, die durch die Reinigungs- und Spülbäder aufgebaut wird. Damit kann keine exakte Abgrenzung, der für die Trocknung benötigten Energie erfolgen.

Ansätze zur Energieeinsparung sind Überlegungen zum Einsatz von Wärmetauschern, die ungenutzte Wärme aus anderen Teilprozessen gewinnen oder der Verzicht auf aktive Trocknung durch längere Trocknungszeiten.

4.2 Stoff- und Energieströme

Wie bereits ausgeführt sind die Stoff- und Energieströme die Größen des Prozesses, die Kosten verursachen, den Verbrauch an Ressourcen und den Output an Produkten sowie Kondukten widerspiegeln. Somit kann der Prozess mit den Input- und Outputgrößen charakterisiert und bewertet werden. Die für einen wässrigen Standardreinigungsprozess relevanten Größen gibt Abbildung 12 wieder. Gleichzeitig wird hier die Systemgrenze für die Prozessbetrachtung deutlich. Die Erfassung der Prozessgrößen ist Voraussetzung für die ökologische und ökonomische Bewertung des Prozesses im Ist-Zustand und für zukünftige Veränderungen durch interne oder externe Prozessvariationen. In Tabelle 8 werden sinnvolle Einheiten und Verfahren der Datenermittlung dargestellt. Der Aufwand der Erfassung muss dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit unterliegen, d. h. der Aufwand sollte der ökologischen und ökonomischen Bedeutung des Flusses entsprechen.

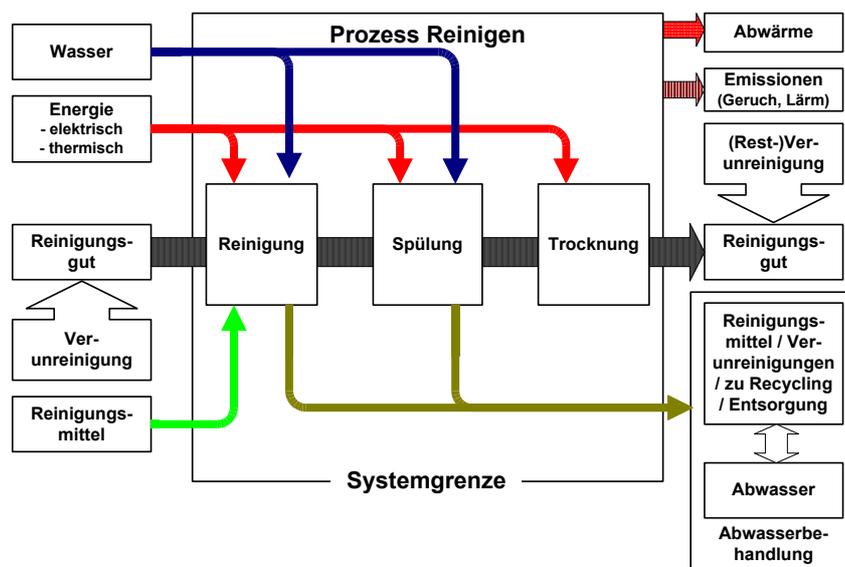


Abbildung 12: Input- und Outputgrößen eines Reinigungsprozesses und die entsprechenden Stoff- und Energieströme

(in Anlehnung an Kreisel, G. u.a. (1998) S. B-27)

¹¹¹ Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. 82.

Input-/Outputgröße		Einheit zur Erfassung	Erfassung / Ermittlung
Wasser		m ³	Wasserzähler
Energie	elektrisch	kWh	Stromzähler
	thermisch	kWh	Wärmezähler oder Systemberechnung
Reinigungsgut		m ² ideal oder m ³ falls zu komplizierte Geometrie vorliegt sowie Stückzahl	Berechnung über Zählung Stückzahl und ermittelten Körperoberflächen oder Volumenermittlung und Stückzahl.
Verunreinigung		g/m ² oder g/m ³	Zusammensetzung und Menge durch analytische Labormethoden als Durchschnittswerte
Reinigungsmittel		g bei festem Reiniger oder l bei flüssigem Reiniger	Über Materialverbrauchsmengen durch Protokollierung der Zugaben
Emissionen Lärm		Dezibel oder Sone	einmalige Messung zur Feststellung bei Installation der Anlage bzw. bei Veränderungen
Emission		keine	Meldungen der Mitarbeiter
Abwasser		m ³	Wasserzähler
Restverunreinigung		mg/m ² bzw. qualitative Aussage	Quantitative Analyseverfahren im Labor, die auch zur Qualitätssicherung durchgeführt werden.

Tabelle 8: Erfassungseinheiten und Möglichkeiten der Stoff und Energieströme
(eigene Darstellung)

4.2.1 Eingangsgröße Verunreinigungen

Die Badqualität und die Standzeit eines Bades hängen stark von den eingetragenen Verunreinigungen der zu reinigenden Teile ab. Dies gilt bezüglich der Qualität und der Quantität. Außerdem bedingen die verschiedenen Arten von Verunreinigungen angepasste Reinigungssysteme. Auftretende Verunreinigungen in Abhängigkeit von den vorangegangenen Prozessen können Fette, Öle, Kühlschmierstoffe, Emulsionen, Späne oder Wachse sein.¹¹²

Die auf den Oberflächen befindlichen Stoffe, wie z. B. Kühlschmierstoffe oder Öle hatten in vorgelagerten Prozessen einen funktionalen Charakter. Da diese Stoffe beim Reinigungsprozess von der Oberfläche entfernt werden und in die Reinigerlösung eingehen, können sie nicht mehr genutzt werden. Mit geeigneten Maßnahmen der Behandlung der Badlösung, lassen diese sich aber teilweise wiedergewinnen. Dies belegen erste Untersuchungen für Kühlschmierstoffe.¹¹³

Die Erfassung der Menge und Qualität der Verunreinigungen ist technologisch sehr aufwendig, da diese sich ständig ändern können und spezielle Analysetechnik voraussetzt. Es ist sinnvoll mit Hilfe analytischer Methoden und durch die Rückverfolgung der durchlaufenen Prozessschritte Daten über die Zusammensetzung und durchschnittliche Menge pro Flächen- oder Stückerheit zu erheben. Diese sollte in angemessenen Abständen oder bei vermuteten erheblichen Veränderungen erfolgen. Die Ermittlung dieser Daten ist zur Erkennung von Ursache-Wirkungsketten wie z. B. von Zusammenhängen zwischen eingetragener Verunreinigung und Inhaltsstoffe im Abwasser oder Abfall wichtig. Da sich die eingetragenen Verunreinigungen unmittelbar auf die Leistung des Prozesses Reinigen auswirken, ergibt sich als grundlegende Forderung an vorgelagerte Prozessstufen, ihren Output an Verschmutzung zu minimieren. Die ökologische Zurechnung der Verschmutzung hat zum verursachenden

¹¹² Vgl. Hoffmann, E. u.a. (1996) S. 96 sowie Göpfert, B. (1997) S. 762.

¹¹³ Vgl. Kiechle, A. u.A. (1992) Teil I S 15f.

Prozess zu erfolgen, um Maßnahmen zur Verbesserung auf die entsprechenden Schwachstellen lenken zu können.

- Fette und Öle

Mit Fetten und Ölen werden Oberflächen zum Zwecke des Korrosionsschutzes belegt. Diese Belegung sollte natürlich nur so stark wie nötig sein, um den Verbrauch an diesen Stoffen zu minimieren.

Um abgereinigte Fette und Öle einer Wiederverwendung oder Weiterverwertung zuzuführen, können sie durch geeignete Verfahrensgestaltung aus der Reinigerlösung abgetrennt werden. Auf diese sinkt die Belastung des Abwassers und der damit verbundenen Kosten der Entsorgung. Außerdem besteht die Möglichkeit die so gewonnenen Sekundärrohstoffe zur energetischen Verwertung zu nutzen. Ansonsten tragen Fette und Öle erheblich zur Belastung des entstehenden Abwassers und der Menge an zu entsorgendem Sonderabfall bei.

- Kühlschmierstoffe

Kühlschmierstoffe werden bei Bearbeitung von Teilen zur Schmierung und Kühlung eingesetzt. Nach dem Bearbeiten verbleiben diese als Verunreinigung auf den Werkstückoberflächen und können nachfolgende Fertigungsschritte der Oberflächentechnik negativ beeinflussen.¹¹⁴ Aus diesem Grund sind diese durch einen Reinigungsschritt zu entfernen. Da Kühlschmierstoffe Wertstoffe sind, wurde in einem Forschungsprojekt¹¹⁵ die Möglichkeit der Wiedergewinnung dieser Stoffe untersucht. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass durch Anpassungsentwicklung der Kühlschmierstoffe, sowie Vermeidung von Vermischung und entsprechender Reinigungstechnologie die Kühlschmierstoffe wiedergewonnen werden können.¹¹⁶ Solche Maßnahmen senken neben der Einsparung von neuem Kühlschmierstoff auch wesentlich die Abwasserbelastung des Prozesses Reinigen.

- Späne und Staub

Diese Arten der Verschmutzung entstehen durch Bearbeitungs- und Lagervorgänge und gehen während des Prozesses in das Abwasser ein oder werden mechanisch abgetrennt und sind als Abfall zu entsorgen. Eine sinnvolle wirtschaftliche Verwertung ist aufgrund der geringen Mengen und der Vermischung mit anderen Stoffen auszuschließen.

4.2.2 Eingangsgröße Energie

Die benötigte Energie kann in mehreren Formen bereitgestellt werden. Elektrische Energie wird mindestens zur Prozessführung, d. h. für den Warentransport sowie die Steuer- und Regelungstechnik, benötigt. Wie die benötigte Wärmeenergie für die Prozessstufen Reinigen und Trocknen bereitgestellt wird, hängt stark von den örtlichen Begebenheiten des Betriebes (Zentrale Wärmeversorgung, Nutzung von Abwärme andere Prozesse durch Einsatz von Wärmetauschern) ab. Ideal ist die Erfassung über Wärmezähler, was aber nicht in allen Fällen

¹¹⁴ Vgl. ebenda S. 1.

¹¹⁵ BMFT-Projekt 01 ZH 8821/5: Emissionsarme Schmierstoffe. Projektpartner: Fuchs Mineralölwerke GmbH und Mercedes Benz AG Werk Untertürkheim. Projektdauer: 01.10.1989 – 30.09.1992.

¹¹⁶ Vgl. Kiechle, A. u.A. (1992) S. 15f.

technisch oder wirtschaftlich möglich ist. In diesen Fällen sollte eine Systemanalyse der Prozessstufen Reinigen, Spülen und Trocknen Anhaltswerte über benötigte Wärmemengen in Abhängigkeit der Betriebsdauer und in Abhängigkeit von Betriebsparametern liefern. Mit der Systemanalyse können auch Aussagen zur Verlustenergie getroffen werden.

4.2.3 Einganggröße Reinigungsmittel

Der Verbrauch an Reinigungsmittel ist durch die Ermittlung der eingesetzten Menge zu erfassen. Die Art des Reinigungsmittels und damit dessen Zusammensetzung sollten für die Abschätzung möglicher Auswirkungen bekannt sein. Der Hersteller des Reinigungsmittels ist gegenüber dem Umweltbundesamt über die chemische Zusammensetzung auskunftspflichtig¹¹⁷ und sollte auch seinen Kunden Zugang zu diesen Informationen gewährleisten. Die in den eingesetzten Reinigungsmitteln enthaltenen Tenside müssen biologisch abbaubar sein¹¹⁸. Dies ist durch die Im Wasch- und Reinigungsmittelgesetz festgelegten Verfahren nachzuweisen.

4.2.4 Abwasser aus dem Reinigungsprozess

Anfallendes Abwasser aus Anlagen wird meist in betriebseigenen Abwasseraufbereitungsanlagen zur Einhaltung vorgeschriebener Grenzwerte behandelt, bevor es in das öffentliche Kanalnetz gelangt oder in Gewässer eingeleitet wird.

Einige Summenparameter, die Aussagen über mögliche Zustände des Abwassers geben können und auch für Grenzwertregelungen herangezogen werden, sind in Tabelle 9 aufgeführt. Durch Summenparameter wird der Zustand von Wasser mit größerer Bandbreite charakterisiert.¹¹⁹

Das durch den Prozess Reinigen verursachte Wasser ist quantitativ zu erfassen und periodisch oder kontinuierlich mit geeigneter Messtechnik¹²⁰ qualitativ zu überwachen. Die Nachbehandlung insbesondere die Abtrennung von Ölen, Fetten oder fester Bestandteile wird in Abhängigkeit der Prozesstechnologie teilweise innerhalb der oben beschriebenen Systemgrenze oder außerhalb in zentralen Aufbereitungsanlagen vorgenommen. Bei einer integrierten Aufbereitung der Bäder mit Hilfe moderner Technologien (vgl. Kapitel 4.3) entsteht als weitere zu bilanzierende Stoffgruppe zu entsorgende oder wiederverwertbare feste oder flüssige Abfälle, die z. B. Öle, Fette enthalten (vgl. Abbildung 12).

¹¹⁷ Vgl. WRMG §9 (2).

¹¹⁸ Vgl. ebenda §3 (1).

¹¹⁹ Vgl. Muhr, G. (1993) S. 1.

¹²⁰ Wie die Qualität des entstehenden Abwassers überwacht wird hängt von den Prozessbedingungen bzw. von wirtschaftlichen Überlegungen ab. Bei einigen Prozessen kann die Qualität des Abwasser schon als Prozessgröße mitverfolgt werden.

Summenparameter- gruppe	Abkür- zung	Beschreibung
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	Der CSB stellt totalen Sauerstoffbedarf eines Abwassers unter vorgeschriebenen Prüfbedingungen dar. Dabei werden insbesondere oxidierbare Mineralsalze (z.B. Sulfide, Salze von Metallen in niederen Oxidationsstufen) sowie die Mehrzahl an organischen Kohlenstoffverbindungen unabhängig von der biologischen Abbaubarkeit erfasst. Der CSB ist einer der wichtigsten Summenparameter und wird zur Festsetzung der Abwasserabgabe herangezogen.
Biologischer Sauerstoffbedarf	BSB	Der BSB nutzt biochemische Tätigkeiten aerober Mikroorganismen, die beim oxidativen Abbau von organischen Stoffen, wie Ammonium u.a., Sauerstoff verbrauchen. Zum vollständigen Stoffabbau brauchen die Mikroorganismen ca. 30 Tage Zeit. Normalerweise erfolgt ein Abbruch des Tests nach 5 Tagen und die bis dahin verbrauchte Sauerstoffmenge wird als BSB ₅ angegeben.
Gehalt an Totalem Organischen Kohlenstoff	TOC TIC TC	Der TOC (Total Organic Carbon) erfasst den gesamten organischen Kohlenstoffgehalt eines Abwassers als Maß für organische Verschmutzungen. Anorganische Kohlenstoffverbindungen (gelöstes CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^-) werden als TIC (Total Inorganic Carbon) ausgedrückt. Der gesamte Kohlenstoffgehalt eines Abwassers TC (Total Carbon) ergibt sich aus der Summe von TOC und TIC.
Fischttest		Der Fischttest, der mit dem Fisch Goldorfe (<i>Leuciscus idus melanotus</i>) durchgeführt wird, dient zur Bestimmung der innerhalb von 48 Stunden eintretenden letalen Wirkung des Abwassers. Der Fischttest ist nur am Ablauf von Abwasserreinigungsanlagen, also am Einleitungspunkt in ein Gewässer, sinnvoll anzuwenden.
Adsorbierbare Organische Halogenverbindungen	AOX EOX POX	Der AOX (Adsorbable Organic Halogen) beschreibt die auf Aktivkohle adsorbierbaren organischen Verbindungen der Halogene Chlor, Brom und Jod. Dieser Parameter dient der schnellen Erfassung von Halogenkohlenwasserstoffemissionen. Mit EOX (Extractable Organic Halogen) und POX (Purgeable Organic Halogen) stehen weitere Parameter zur Verfügung

Tabelle 9: Summenparameter zur Beurteilung von Verschmutzung eines Abwassers

(eigene Darstellung basierend auf Muhr, G. (1993) S. 1f.)

4.3 Verfahren und Ansätze zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit des wässrigen Reinigungsverfahrens

Der Markt der Oberflächentechnik bietet bereits heute eine Anzahl von Technologien, die Umweltauswirkungen oberflächentechnischer Prozesse senken können. Eine Übersicht dieser in das Verfahren integrier- oder nachschaltbaren Technologien gibt Tabelle 10.

Einige Verfahren oder Ansätze die sich bereits bei Anlagen zum wässrigen Reinigen bewährt haben oder potentiell einsetzbar wären, sind Gegenstand der folgenden Betrachtungen.

Verfahren	Wirkungsweise	Verfahrenscharakteristik	Anwendung
Verdunster/ Verdampfer	physikalisch	Verdunsten/ Verdampfen eines Teiles des Lösungsmittels (Wasser), um Mengen zu steuern	Wertstoffrückführung durch Aufkonzentrieren von (Halb-) Konzentraten
Ultra-/Mikrofiltration	physikalisch	Aufkonzentrieren höhermolekularer Substanzen aus wässrigen Lösungen mit stoffspezifischen Membranen	Emulsionsspaltung zur Standzeitverlängerung von Entfettungsbädern, Trennung von Öl-Wassergemischen
Umkehrosmose	physikalisch	Abtrennen von Ionen aus wässrigen Lösungen mit semipermeablen Membranen durch Überwindung des osmotischen Druckes	Badrückführung durch Aufkonzentrieren von (Halb-) Konzentraten
Elektrodialyse	physikalisch/ elektrochemisch	Abtrennen von Ionen aus wässrigen Lösungen mit semipermeablen Membranen durch Anlegen eines elektrischen Feldes	Badrückführung durch Aufkonzentrieren von (Halb-) Konzentraten, Regeneration saurer Prozessbäder
Elektrolyse	elektrochemisch	Abscheiden gelöster Metallionen an Elektroden durch Anlegen eines elektrischen Feldes	Metallrückgewinnung (in fester Form), selektive Reinigung durch Metallabtrennung
Ionenaustauscher	physikalisch/ chemisch	Abtrennen von Wasserinhaltsstoffen durch Adsorption/ Absorption an Substanzen mit einer großen spezifischen Oberfläche (Harze)	Rückgewinnung von Bunt- und Edelmetallen, selektive Reinigung von Prozesslösungen (Chrom-säure-, Chromatierungs-, Phosphorsäure- und Farbloxalbäder)
Extraktion	physikalisch/ chemisch	selektives Abtrennen von Metallen mit einem mit Wasser nicht mischbaren Extraktionsmittel	Abtrennung und Aufkonzentrierung eines Metalles
Kristallisation	physikalisch/ chemisch	Ausfällen eines gelösten Stoffes aus einer Lösung z.B. durch Eindampfen, Abkühlen, so dass die Löslichkeitsgrenze des gelösten Stoffes überschritten wird	Abtrennen von Metallen in Form ihrer Salze, Rückgewinnung von EDTA

Tabelle 10: Prinzipielle Technologien zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit

(Quelle: Dirschka, J. (1995) S.346)

4.3.1 Nichtwässrige Vorreinigung

Stark begrenzend auf die Qualität des Reinigungsprozesses und die Badstandzeit wirkt die eingetragene Schmutzfracht, die Wirksubstanzen bindet, sich im Bad anreichert und in folgende Spülstufen verschleppt wird. Bei Teilen, die stark verölt sind, kann eine Vorentölung vorgenommen werden. Dies entlastet die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Reinigungsbäder¹²¹. Die durch Verfahren, wie Saugblasen abgetrennten Öle können von Bestandteilen, wie Spänen getrennt werden und dem betrieblichen Stoffkreislauf wieder zugeführt werden.¹²²

4.3.2 Wässrige Vorreinigung

Durch den Einsatz einer vorgeschalteten Heißwasserspüle können leicht ablösbare Öle und nicht fest anhaftende mechanische Verunreinigungen von Teilen, wie Späne oder Abrieb, entfernt werden. Dabei kommen keine Chemikalien zum Einsatz und die Verunreinigungen können in einem Gegenbehälter abgetrennt werden¹²³. Standzeiten können so um das zwei- bis sechsfache verlängert werden.¹²⁴

¹²¹ Vgl. Winkel, P. (1997) S. 8.

¹²² Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. 69.

¹²³ Vgl. Bessey, H. (1979) S. 372.

¹²⁴ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 39.

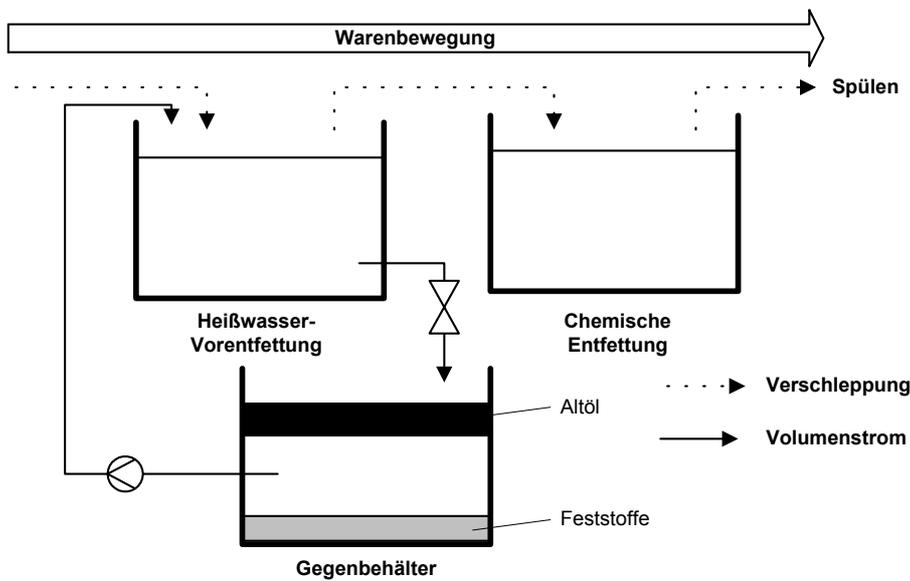


Abbildung 13: Heißwasser-Vorentfettung als Vorreinigungsstufe zur Standzeitverlängerung wässriger Entfettungsbäder
(Quelle: Gräf, R. (1998) S. 37)

4.3.3 Wirkbadkaskade

Wirkbadkaskaden, die aus zwei Bädern gleicher Zusammensetzung bestehen, können die Standzeit auf das sechs- bis zehnfache einer Einzelentfettung verlängern. Das erste Bad bildet die Vorentfettung und das zweite die eigentliche Entfettung, welche die benötigte Reinigungsqualität erzielt (vgl. Abbildung 14). Der Kaskadeneffekt wird dadurch erreicht, dass das erste Entfettungsbad nach dem Verwerfen durch das Zweite aufgefüllt und dieses wiederum neu angesetzt wird.¹²⁵

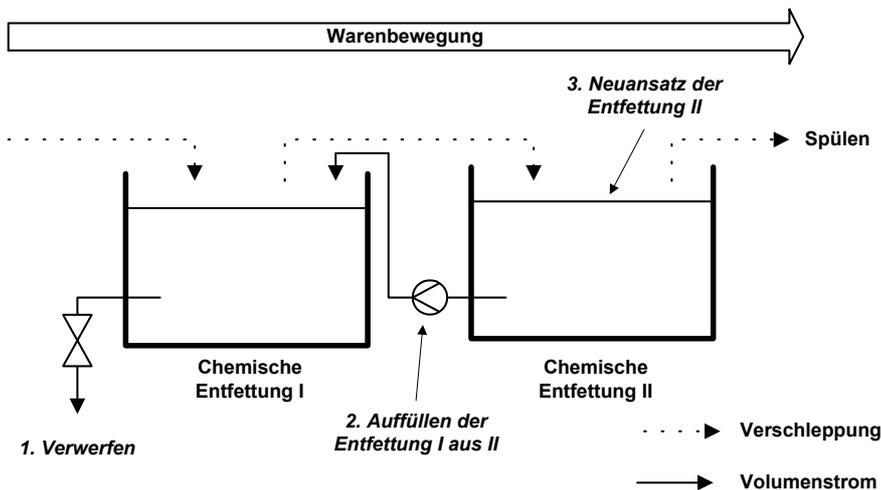


Abbildung 14: Wirkbad-, Kaskade zur Standzeitverlängerung von Entfettungen
(Quelle: Gräf, R. (1998) S. 38.)

¹²⁵ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 39.

4.3.4 Regeneration demulgierend arbeitender Entfettungsbäder

Demulgierend arbeitende Reinigungsbäder bilden keine stabilen Emulsionen (vgl. Kapitel 4.1.1.1). Abgereinigte Öle und Fette trennen sich bei ruhiger Lösung von der Wasserphase und schwimmen auf. Dieser Effekt kann zu einer einfachen, aber effektiven Methode der Badregeneration genutzt werden. Die Prozesslösung wird dazu in ein Aufbereitungsbecken, auch als Gegenbehälter bezeichnet, gepumpt und dort so beruhigt, das sich die Emulsionstrennung vollzieht. Öle und Fette steigen zur Flüssigkeitsoberfläche und werden dort mit Ölskimmern entfernt. Sich ablagernde Sedimente fester Verschmutzungen können vom Boden des Gegenbehälters abgepumpt und weiteren Behandlungsmaßnahmen z.B. Aufkonzentrieren zugeführt werden (vgl. Abbildung 15). Mit dieser Art Kreislaufführung verlängern sich die Badstandzeiten erheblich. Damit sinkt der Wasserverbrauch und Abwasseranfall. Ausgetragene Wirksubstanzen¹²⁶ sind durch Analyse zu überwachen und gegebenenfalls zu ergänzen. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, das sich beim Betrieb der Anlage ein konstanter Ölgehalt einstellt und damit der Einfluss¹²⁷ des Anwendungsparameters Badbelastung determiniert ist.

Zur Abtrennung freier Ölanteile können auch Separatoren¹²⁸, Dekanter, Ringkammerentöler¹²⁹ oder Zentrifugen¹³⁰ eingesetzt werden.

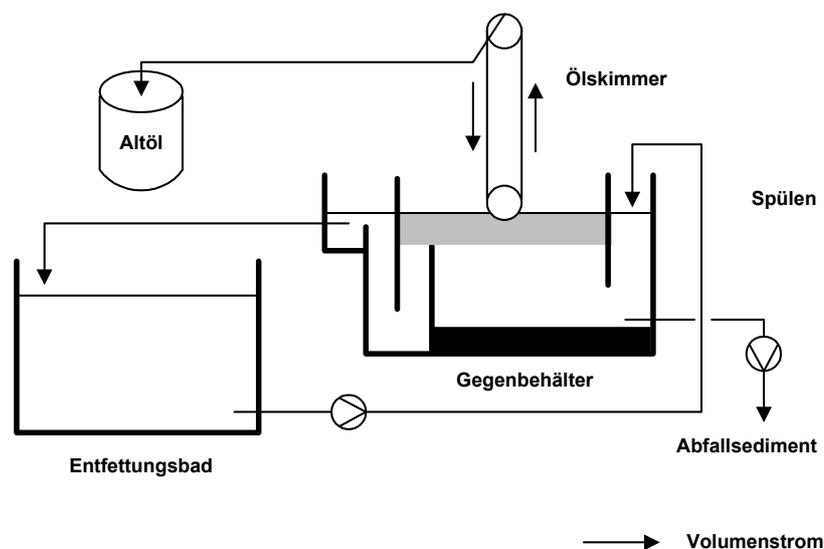


Abbildung 15: Demulgierend arbeitendes Entfettungsbad mit Gegenbehälter und Ölskimmer zur Regeneration

(Quelle: Gräf, R. (1998) S. 43)

4.3.5 Membranfiltration zur Badpflege von Reinigungsbädern

Der Membranfiltration werden verschiedene Verfahren zur Auftrennung von Stoffgemischen durch Permeation (siehe Abbildung 16) bestimmter Stoffkomponenten durch eine Membran zugeordnet. Unterschieden werden dabei Umkehrosmose (UO),¹³¹ Ultrafiltration (UF) und

¹²⁶ Mit dem Entfernen von Öl werden auch Bestandteile der Badchemie insbesondere Tenside ausgetragen, die sich an Grenzflächen zum Öl anlagern. Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. 75f.

¹²⁷ Vgl. Schmidt, K.-J. (1994) S. 225.

¹²⁸ Vgl. Hellstern, R. u.a. (1995) S. 73 und 113.

¹²⁹ Vgl. Schmidt, K.-J. (1994) S. 222.

¹³⁰ Vgl. Metzner, M. (1999) S. 14.

¹³¹ engl.: reverse osmosis (RO).

Mikrofiltration (MF), die zur Filtration verschiedener Teilchengrößen eingesetzt werden (vgl. Abbildung 17).

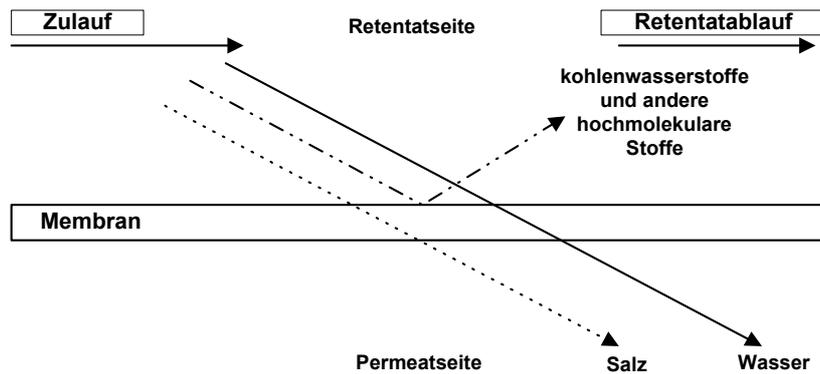


Abbildung 16: Prinzip der Permeation und Retention von Salz/Wasser und Kohlenwasserstoffen

(Quelle: Gräf, R. (1998) S. 131)

Zur Badregeneration (vgl. Abbildung 18) werden in der Oberflächentechnik die Ultra- bzw. Mikrofiltration eingesetzt.¹³²

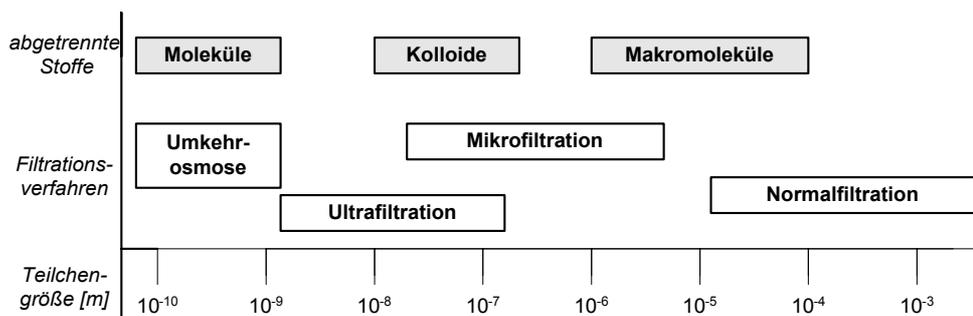


Abbildung 17: Filtrationsverfahren in Abhängigkeit vom Trennschnitt

(Quelle: Gräf, R. (1998) S. 131)

Bei der Filtration entstehen zwei Produktströme:¹³³

1. Permeat:

Flüssigkeit, die durch die Membran durchtritt und im Falle der wässrigen Reinigung möglichst viele waschaktive Substanzen in das Reinigungsbad zurückführen soll.

2. Retentat:

Das Retentat enthält alle Stoffe, die hauptsächlich aufgrund ihrer Größe nicht durch die Membran permeieren. Das sind u.a. Öltröpfchen und die verschiedenen Makromoleküle organischer Natur. Durch Aufkonzentrierung dieser Stoffe im Retentatkreislauf wird durch Membrantrennverfahren das Volumen an zu entsorgenden Sonderabfall reduziert.

¹³² Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 14, Schwering, H.-U. (2000) Teil 5/4.2 S.1 sowie Brücken, V. (1996) S. 14.

¹³³ Vgl. Hellstern, R. u.a. (1995) S. 125.

Problematisch bei dieser Art der Regeneration ist die unterschiedliche Filterwirkung für einzelne Bestandteile der Reinigerchemie. So ist der Tensidrückhalt in einer Reinigerformulierung unter anderem abhängig von:

- der Art und der Menge der Ölkontamination,
- der Art und Ansatzkonzentration der Builderformulierungen,
- der Art und der Ansatzkonzentration der Tensidformulierung,
- von der eingesetzten Membran¹³⁴ und
- dem Überschreiten des Trübungspunktes der Tensidlösung¹³⁵

In der Praxis werden deshalb möglichst stabile Zustände angestrebt um die Prozessführung zu vereinfachen.¹³⁶

- die Tenside passieren die Membran zu 100%¹³⁷ oder
- die Tenside werden vollständig zurückgehalten.

So sind die Reinigerformulierungen auf das Verfahren abzustimmen und zu optimieren. Dazu sind empirische Versuche an der Anlage notwendig, um die Rezepturformulierung an die Prozessbedingungen vor Ort anzupassen.¹³⁸ Eine analytische Überwachung und Prozessanalyse kann dann in eine automatisierte Konzentrationssteuerung umgesetzt werden.¹³⁹

¹³⁴ Vgl. Spei, B.; Luck, S. (1998) S. 56.

¹³⁵ Vgl. Hater, W. (1993) S. 23. Tenside sind in Wasser nur in einem begrenzten Temperaturbereich löslich. Wird die Entmischungstemperatur überschritten, so wird die wässrige Lösung trübe und das Tensid tritt aus. Diese Entmischungstemperatur wird als Trübungspunkt bezeichnet (vgl. Müller, K.-P. (1999) S. 39).

¹³⁶ Vgl. Luck, S. (2001).

¹³⁷ Tenside werden bei Einsatz einer geeigneten Membran kaum zurückgehalten. Vgl. Hater, W. (1994) S. 714.

¹³⁸ Vgl. Strauss, W. u. A. (2001) S. 65.

¹³⁹ Vgl. Luck, S. (2001).

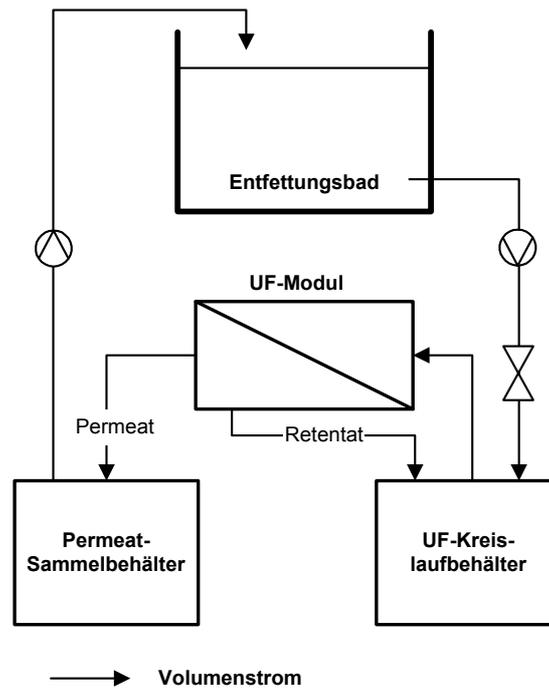


Abbildung 18: Badaufbereitung durch Kreislaufführung und Ultrafiltration
(in Anlehnung an Hellstern, R. u.a. (1995) S. 73 und Gräf, R. (1998) S. 46)

Verfahren der Membranfiltration stellen derzeit die beste Möglichkeit dar, die Reinigungslösung von unerwünschten Kontaminationen zu befreien und durch Einsatz im Kreislaufverfahren die Badstandzeiten maximal zu verlängern. Eine kontinuierliche Badpflege mit entsprechender Überwachung und Regelung führt zu konstanten Verhältnissen. Dies wirkt sich positiv auf die Sicherheit der produzierten Qualität aus.

4.3.6 Verfahren zur Konzentration von Wirkstoffen aus der Spülstufe

In die Spülbäder, die dem Reinigen folgen, werden durch Verschleppung anhaftender Reinigerlösung unerwünschte Wirksubstanzen eingetragen. Dies wirkt sich in zweifacher Hinsicht negativ aus:

- zum einen gehen dem Reinigungsbad Wirkstoffe verloren und
- zum anderen reichern sich diese in den Spülbädern an, was die Spülqualität negativ beeinflusst.

Beim Spülen ohne zusätzlicher Aufbereitungstechnik, wird diese Konzentration durch Zufuhr von frischem Wasser niedrig gehalten. Wobei die Konzentration in den Spülwässern von der Verschleppungsmenge, die durch die Geometrie der Teile, dem Anlagentyp und den physikalischen Eigenschaften der Prozesslösung bestimmt wird, abhängig ist. Um den Verbrauch von Wasser, den Anfall von belastetem Abwasser und den Einsatz von Wirkstoffen zu verringern, werden Verfahren zur Aufkonzentrierung von Lösungen eingesetzt.¹⁴⁰ Solche Verfahren sind Verdampfung bzw. Destillation und Umkehrosmose die im folgenden kurz vorgestellt werden.

¹⁴⁰ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 105f.

4.3.6.1 Verdampfen bzw. Destillation

Beim Verdampfen wird eine Flüssigkeit über ihre Siedetemperatur erhitzt und wieder kondensiert. Damit werden die dampfflüchtigen Bestandteile (optimal nur Wasser) von den anderen, die das Destillat bilden, getrennt. Das kondensierte Wasser kann wieder dem Spülsystem und das Destillat dem Wirkbad zugeführt werden.¹⁴¹ In der Praxis kommen sogenannte Vakuumdestillationsanlagen zum Einsatz, die durch das Arbeiten bei geringeren Drücken den Siedepunkt herabsetzen und so die Wärmeverluste bei der Verdampfung senken sowie die zu trennenden Stoffe thermisch schonen.¹⁴² Zur Reduzierung des hohen Energiebedarfs¹⁴³ durch die große Verdampfungsenergie von Wasser werden Wärmetauscher eingesetzt.¹⁴⁴

Die Vakuumdestillation lässt sich zur Kreislaufführung von Spülbädern oder zur Aufkonzentrierung bzw. zum Eindicken von Abwässern aus dem Reinigungsbad bzw. Retentaten von Membranfiltrationen nutzen. Zur Einung des Destillats, also der konzentrierten Wirksubstanzen zum Wiedereinsatz im Reinigungsbad konnten keine Aussagen gefunden werden. Ob dies nicht möglich ist, aufgrund der Zusammensetzung oder einfach noch nicht untersucht wurde, ist im Sinne der vollständigen Kreislaufführung an anderer Stelle zu überprüfen.

Abbildung 19 zeigt den Einsatz einer Vakuumdestillation zur Kreislaufführung von Spülwasser, bei der nur Verluste an Wasser ausgeglichen werden müssen.

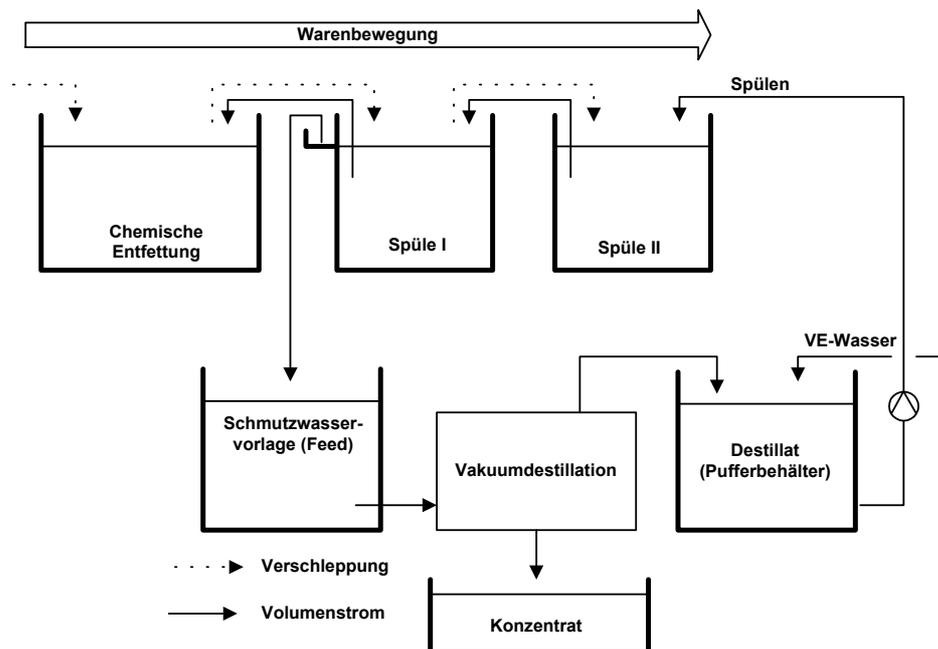


Abbildung 19: Kreislaufführung von Spülwasser durch Einsatz von Vakuumdestillation
(eigene Darstellung basierend auf Frei, K.; Justen, F. (1997) S.754 Bild 1 und Heinrich, J. (1997) Anlage Bild 8)

¹⁴¹ Vgl. ebenda S. 109ff.

¹⁴² Vgl. Heinrich, J. (1997) S. 1

¹⁴³ Vgl. Jelinek, T. W. (1999) S. 73.

¹⁴⁴ Vgl. Heinrich, J. (1997) S. 1

4.3.6.2 Umkehrosmose

Die Umkehrosmose gehört zu den Membranverfahren. Diese Methode beruht auf Umkehrung des osmotischen Druckes, der einen Konzentrationsausgleich zwischen zwei Flüssigkeiten bewirkt, indem Wasser auf die höherkonzentrierte Seite transportiert wird. Durch Anlegen eines höheren Druckes auf der Seite der höherkonzentrierten Flüssigkeit wird dieser Vorgang umgekehrt. Die Flüssigkeiten sind dabei durch eine semipermeable Membran voneinander getrennt. Auf diese Weise dient die Umkehrosmose der Abtrennung von reinem Wasser aus Lösungen, die Salze oder andere gelöste Stoffe enthalten.¹⁴⁵ Wie durch PETERS und RICKE¹⁴⁶ beschrieben wird, findet die Umkehrosmose bei der Kreislaufführung von Spülwässern und bei der Rückgewinnung von Wasser aus der Reinigerlösung beim Einsatz in einer Entfettungsanlage Anwendung.

Die Zielstellung des Betriebes eines Kreislaufprozesses mit:

- Rückgewinnung des Rohwassers,
- Rückgewinnung der Reinigerlösung,
- verbrauchsgerechter Mengenströmung und
- konstanten Badkonzentrationen

kann durch Integration einer Umkehrosmoseanlage erreicht werden.¹⁴⁷ Diese Maßnahme führte im beschriebenen Fall zu einer Senkung der Betriebskosten um 66 %, wobei die Kosten für Entsorgung und Abfallabgabe mit der Recyclingtechnologie nur noch ca. 9% der Kosten vor der Umstellung betragen. Da diese Kosten über Mengensätze berechnet werden, ist nachzuvollziehen, dass die Abfallmenge auf ein Zehntel gesunken ist. Dabei auftretende Verdunstungsverluste müssen mit VE-Wasser ausgeglichen werden, um einer Aufsalzung der Spülwässer und Reinigerlösung vorzubeugen.

¹⁴⁵ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 111f. sowie Ackermann, K. (1999) S. 1ff.

¹⁴⁶ Vgl. Peters, T. A.; Ricke, U. (1999).

¹⁴⁷ Vgl. Peters, T. A.; Ricke, U. (1999) S. 4 und S. 9.

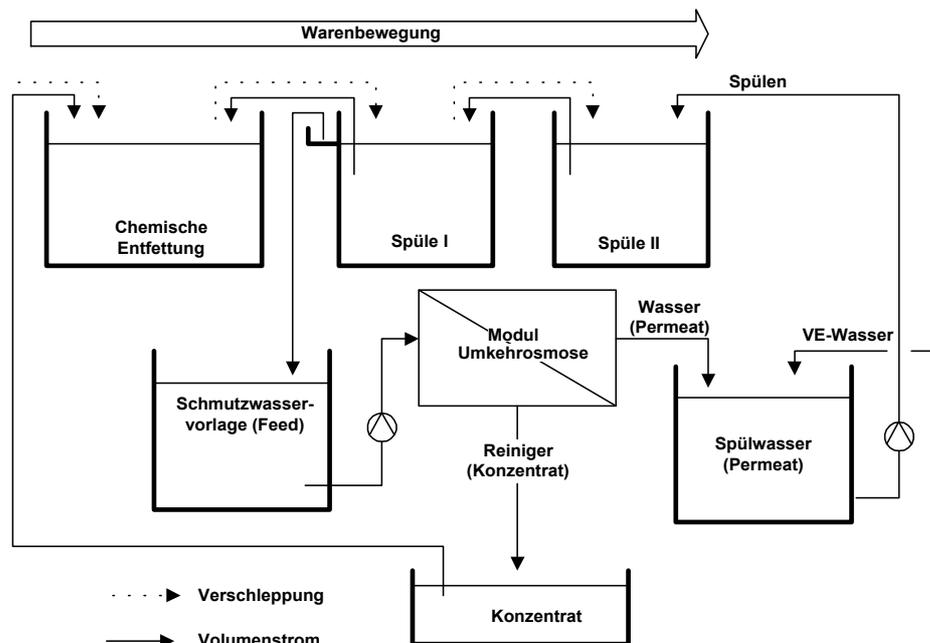


Abbildung 20: Kreislaufführung des Spülwassers und Rückgewinnung des Reinigers durch Umkehrosmose
(eigene Darstellung)

Die Umkehrosmose eignet sich zur Integration in Kreislaufprozesse, um die Funktion eines Konzentrators zu erfüllen. Dabei sinken die Wasser- und Abwassermengen¹⁴⁸ sowie der Einsatz von Reinigungschemikalien. Gegenzurechnen ist allerdings der zusätzliche Energieaufwand zum Betrieb der Pumpen, welche die benötigten Drücke erzeugen.

4.3.7 Modell der Stoffkreislaufschließung beim wässrigen Reinigen

Einen neuen, für den Prozess des Reinigens noch theoretischen Ansatz, bietet ein Modell zur Stoffkreislaufschließung (siehe Abbildung 21), das durch HAUSER¹⁴⁹ vom Institut für Automatisierungstechnik vorgeschlagen wird. Durch Integration peripherer Systeme (Regeneratoren und Konzentratoren) in Fertigungsanlagen kann eine sogenannte produktionsintegrierte Umweltschutzmaßnahme (PIUS) realisiert werden. Verfolgte Zielstellungen sind:¹⁵⁰

- Entfernung von Verschmutzungen aus der Prozesslösung
- Regeneration der Prozesslösung durch Wiedereinsatz von Wirkstoffen und Nachdosierung
- Minimierung des Verbrauchs an Spüllösung durch geringe Verschleppung und Rückführung

Für eine Stoffkreislaufschließung dieser Art werden periphere Komponenten eingesetzt, die zur automatisierten Prozessführung in bestehende Prozessmodelle eingebunden werden müssen. Um das zielgerichtete Zusammenwirken aller Komponenten sicherzustellen, müssen die Zustände der Prozesslösung und der Spülwässer mit geeigneter Sensorik erfasst werden.¹⁵¹

¹⁴⁸ Vgl. Hellstern, R. u.a. (1995) S. 15.

¹⁴⁹ Vgl. Hauser, S; Höhnel; K.; Reich, A. (1996).

¹⁵⁰ Vgl. Hauser, S; Höhnel; K.; Reich, A. (1996) S. 809.

¹⁵¹ Vgl. ebenda S. 809.

Eine Optimierte Spültechnik, die Rückführung des gereinigten Wassers in den Produktionskreislauf sowie die Kopplung des Spülsystems mit dem Reinigungssystem durch Rückführung der Wirksubstanzen bilden ein erhebliches Potential zur:

- Senkung des Wasserverbrauchs,
- Verminderung des Chemikalieneinsatzes sowie
- konstanten Prozessqualität.¹⁵²

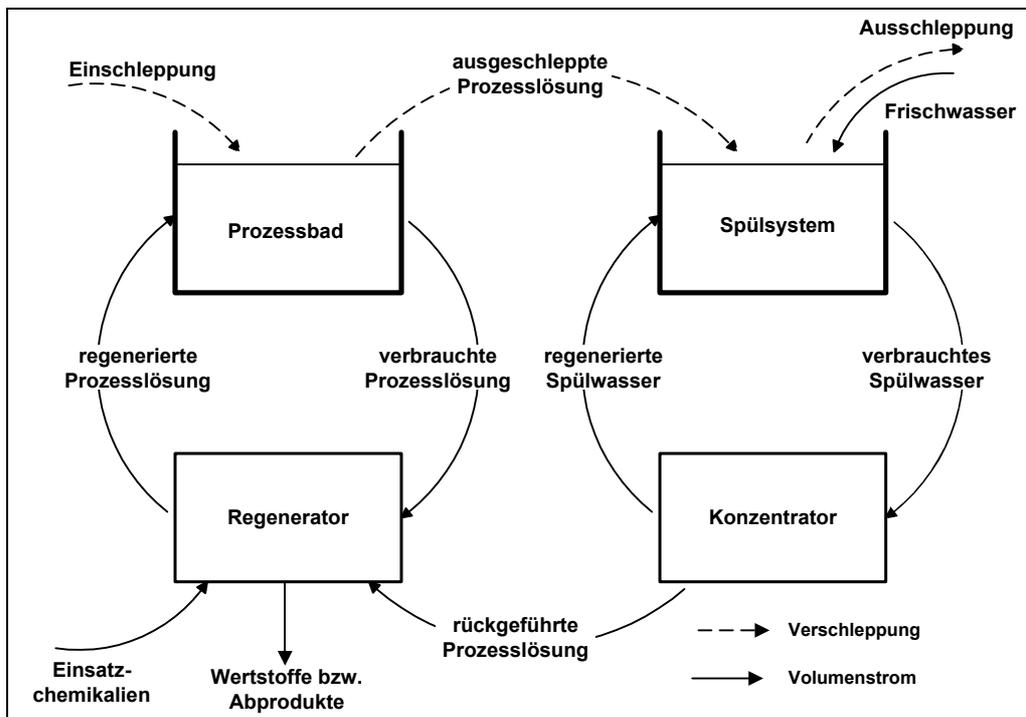


Abbildung 21: Modell der Stoffkreislaufschließung im Prozess des Reinigens

(in Anlehnung an: Hauser, S; Höhnel; K.; Reich, A. (1996) S. 809)

Als Regeneratoren können für den Prozess des Reinigens Membranfiltrationsverfahren (vgl. Kapitel 4.3.5) bei emulgierenden Reinigungssystemen, Ölabscheideverfahren (vgl. Kapitel 4.3.4) bei demulgierenden Systemen oder die Kombination beider Maßnahmen eingesetzt werden. Die Komponente Konzentrator kann durch Verfahren, wie Vakuumdestillation (vgl. Kapitel 4.3.6.1) oder Umkehrosmose (vgl. Kapitel 4.3.6.2) realisiert werden. In der Literatur beschriebene Maßnahmen verwenden entweder regenerative oder konzentrierende Maßnahmen¹⁵³. Deshalb sollten neue Untersuchungen kombinierte Verfahren entsprechend diesem Modell berücksichtigen. Zur Wirkungsweise und Eignung der oben beschriebenen Verfahren existieren eine Reihe von Untersuchungen und Praxisbeispielen, auf die zurückgegriffen werden kann.

¹⁵² Vgl. Heinrich, J. (1997) S. 1.

¹⁵³ Vgl. z.B. Hellstern, R. u.a. (1995).

4.3.8 Prozessmesstechnik zur Reinigungs- und Spülbadüberwachung

Zur Sicherstellung eines kontinuierlichen und reibungslosen Ablaufs von Reinigungsprozessen werden in der betrieblichen Praxis die Zustände der Bäder überwacht.¹⁵⁴ Dabei werden Methoden, wie die Messung des pH-Wertes, die elektrische Leitfähigkeitsmessung,¹⁵⁵ Titration oder Trübungsmessung eingesetzt.¹⁵⁶ Mit diesen Prozessmessverfahren können Veränderungen wichtiger Badparameter, wie Badversschmutzung oder Reinigerkonzentration indirekt überwacht werden. Die Korrelation zwischen Messwert und Badparameter wird durch Quereinflüsse, die durch unbestimmte Einschleppungen in das Bad entstehen, stark beeinträchtigt.

Eine weitere Methode zur Überwachung der wichtigsten Bestandteile einer Reinigerlösung, den Tensiden, ist das Messen der dynamischen Oberflächenspannung dieser Lösung¹⁵⁷. Laut MÜLLER-KIRSCHBAUM¹⁵⁸ korreliert diese Messgröße mit der Reinigungsreserve der Reinigungsflüssigkeit.¹⁵⁹ Falls diese Messmethode prozessstauglich verfügbar wäre, könnte die Reinigerkonzentration des Bades automatisch geregelt werden. Laut Aussage von Herrn Matthes (SITA Messtechnik GmbH Dresden¹⁶⁰) sind schon einige mobile Tensiometer zur Überwachung und Kontrolle von Reinigungsprozessen im Einsatz.

Die Verfügbarkeit zuverlässiger Daten über die wichtigen Badparameter sind Voraussetzung, um Reinigungsbäder steuern und regeln zu können. Die Online-Überwachung der Badparameter kann insbesondere bei großem Durchsatz und

hohen Qualitätsanforderungen die Prozesssicherheit erhöhen und so zur Vermeidung von Betriebsstörungen und zur Sicherung der Produktqualität beitragen.

4.4 Stand der Technik beim Prozess Reinigen und Forschungsansätze in der Oberflächentechnik

Die aktuelle Umweltgesetzgebung, wie Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) sowie deren Verordnungen definieren den Stand der Technik nicht ganz einheitlich.

Als Stand der Technik wird „der Entwicklungsstand technisch und wirtschaftlich durchführbarer fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, die als beste verfügbare Techniken zur Begrenzung von Emissionen praktisch geeignet sind“¹⁶¹, verstanden. Mit dieser Definition hat sich das Kriterium ‚Stand der Technik‘ in der Umweltgesetzgebung verschärft¹⁶².

¹⁵⁴ Vgl. Eckhardt, T. u. A. (2001) S. 22.

¹⁵⁵ Vgl. Hoffmann, A. (1991) S. 54f.

¹⁵⁶ Vgl. Müller-Kirschbaum, Th. u. A. (1993) S. 2 sowie Eckhardt, T. u. A. (2001) S. 23.

¹⁵⁷ Vgl. Eckhardt, T. u. A. (2001) S. 23.

¹⁵⁸ Siehe Offenlegungsschrift seiner Patentanmeldung. Müller-Kirschbaum, Th. u. A. (1993).

¹⁵⁹ Vgl. Müller-Kirschbaum, Th. u. A. (1993) S. 2f.

¹⁶⁰ Die Firma SITA Messtechnik GmbH stellt mobile Blasendrucktensiometer zum Messen der dynamischen Oberflächenspannung her. Mit Herrn Matthes wurde am 05.07.2001 ein Gespräch zu Oberflächenspannungsmessung in Metallreinigungsprozessen und den Markt Oberflächentechnik insbesondere Reinigung geführt.

¹⁶¹ Stellvertretend findet die Definition des WHG §7a (5) zum Stand der Technik Beachtung.

¹⁶² Als Beispiel einer etwas schwächeren Forderung sei hier die Definition des Standes der Technik des BImSchG §3 (6) aufgeführt: „Stand der Technik im Sinne dieses Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme ... gesichert erscheinen läßt.“

Die IVU-Richtlinie¹⁶³ legt fest, dass die „besten verfügbaren Techniken“ den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden darstellen und weist diesen die Aufgabe zu, als Grundlage für Emissionsgrenzwerte zu dienen.¹⁶⁴ Damit wurde die Voraussetzung für praktisch orientierte Grenzwerte geschaffen, die sich dynamisch der Entwicklung anpassen. Problematisch sieht der Verfasser aber den Aufwand zur Festlegung und Pflege der Dokumentation zum Stand der Technik. Der in der IVU-Richtlinie vorgesehene Informationsaustausch¹⁶⁵ mündet in sogenannten BVT-Merkblättern (auch BREFs)¹⁶⁶, die durch die Europäische Kommission veröffentlicht werden.¹⁶⁷ Die Koordination obliegt dem European IPPC Bureau in Sevilla, Spanien. Für den Bereich Oberflächentechnik existiert zur Zeit ein relevantes BVT-Merkblatt mit dem Titel „Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing“, indem Aussagen zum Stand der Technik auch zu Reinigungsprozessen vorliegen¹⁶⁸.

Folgende Tabelle beinhaltet Aussagen zum Stand der Technik beim Prozess Reinigen.

¹⁶³ Kurzbezeichnung für die Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vom 24. September 1996.

¹⁶⁴ Vgl. IVU-Richtlinie §2 (11).

¹⁶⁵ Vgl. ebenda §16 (2).

¹⁶⁶ BVT-Merkblätter steht für Merkblätter für „Beste Verfügbare Techniken“ die im Englischen als „Best Available Techniques Reference Documents“ (kurz BREFs) bezeichnet werden.

¹⁶⁷ Vgl. Bosse, K (2001) S. 279ff.

¹⁶⁸ Vgl. European IPPC Bureau (2000).

Bereich	Stand der Technik	Quelle
Reinigungsstufe	<ul style="list-style-type: none"> Reinigungsbadbehandlung mittels geeigneter Verfahren wie Membranfiltration, Ionenaustauscher, Elektrolyse, thermische Verfahren¹⁶⁹ mit dem Ziel der Erreichung einer maximalen Standzeit des Bades Entfernung von Öl von der Badoberfläche mit Separatoren oder Skimmer und Ölentfernung aus dem Reinigungsbad durch Mikro- oder Ultrafiltration.¹⁷⁰ Kein Einsatz von EDTA¹⁷¹ beim Entfetten, da dieses im einem Abwasserverbot unterliegt 	Anhang 40 (Metallbearbeitung, Metallverarbeitung) der Abwasser-verordnung
	<ul style="list-style-type: none"> Heizen der Reinigungsbäder mit Abwärme oder Wärmetauscher.¹⁷² Maximale Badstandzeiten bis zu zwei Jahren (einzelne Quellen berichten von bis zu sieben Jahren)¹⁷³ Bäder zur Entsorgung werden meist von Vertragspartner entsorgt und dort in ölreiche und ölarme Bestandteile aufgespaltet und entweder weiter aufbereitet (wässrige ölarme Phase) oder entweder energetisch verwertet bzw. als Sondermüll entsorgt (ölreiche Phase). Einsatz eines Verfahrens, das Reinigungsbäder durch biologische Reinigung (Bakterienkulturen) von Ölen und Fetten kontinuierlich befreit. Damit wird die Nutzungsdauer verlängert und die Menge an zu entsorgenden Ölschlamm reduziert.¹⁷⁴ 	Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry ¹⁷⁵
Spülstufe	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz von mindestens 3 Spülstufen und damit verbundene Mehrfachnutzung von Spülwasser mittels geeigneter Verfahren wie Kaskadenspülung oder Kreislaufspültechnik mit Ionenaustauscher¹⁷⁶ Rückführung ausgeschleppter Stoffe von Spülbäder in Prozessbäder durch Kreislaufführung bzw. Techniken der Aufkonzentrierung.¹⁷⁷ 	Anhang 40 (Metallbearbeitung, Metallverarbeitung) der Abwasser-verordnung
	<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwendung von aufkonzentrierter Spüllösung einer Standspüle im Reinigungsbad zum Ausgleich der Verdampfungsverluste und Senkung der Abwasseremenge¹⁷⁸ 	Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry

Tabelle 11: Aussagen zum Stand der Technik beim Prozess des wässrigen Reinigens
(eigene Darstellung)

Erfahrungswerte für die Höhe des Input bzw. des Verbrauches von Stoffen beim wässrigen Reinigungsprozess, die bei Anlagen nach Stand der Technik erreicht werden, stellt Tabelle 12

¹⁶⁹ Zur Erklärung der entsprechenden Verfahren siehe Abschnitt 4.3.

¹⁷⁰ Vgl. European IPPC Bureau (2000) S. 337 (Part C/Chapter 2).

¹⁷¹ EDTA (Ethylendiamintetraacetat, auch Ethylendiamintetraessigsäure) ist ein Komplexbildner. Vgl. Heintz, A.; Reinhardt, G. (1991) S. 112.

¹⁷² Vgl. European IPPC Bureau (2000) S. 344 (Part C/Chapter 3).

¹⁷³ Vgl. European IPPC Bureau (2000) S. 344 (Part C/Chapter 3).

¹⁷⁴ Vgl. Verfahrensvorstellung und Beschreibung in Göpfert, B. (1997) S.762ff. und Berücksichtigung in European IPPC Bureau (2000) S. 353ff. (Part C/Chapter 4).

¹⁷⁵ Dieses Dokument wird durch das European IPPC Bureau koordiniert und veröffentlicht.

¹⁷⁶ Vgl. Zimpel, J. (1997) S. 2.

¹⁷⁷ Vgl. Gräf, R. (1998) S. 7.

¹⁷⁸ Vgl. European IPPC Bureau (2000) S. 368 (Part C/Chapter 4).

dar. Diese Werte können als Vergleichsgrößen zur Beurteilung der Umweltleistung herangezogen werden.

Input / Verbrauchsmengen	
Reinigungsmittel	0 – 4 kg/t
Wasser	0 – 20 l/t
Energie	0 – 44,6 kWh/t

*Tabelle 12: Erfahrungswerte zum Verbrauch an Stoffen und Energie beim wässrigen Reinigen bei Anlagen nach Stand der Technik¹⁷⁹
(eigene Darstellung)*

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass wässrige Reinigungsanlagen dem Stand der Technik entsprechen, falls

- die Standzeit des Bades durch Badpflegemaßnahmen, wie Filtration oder Separation sowie durch Ergänzung von Wirkstoffen optimiert wird,
- energiesparende Maßnahmen integriert sind oder Verlustenergien anderer Prozesse genutzt werden
- bei Wirtschaftlichkeit Abfälle aufbereitet oder energetisch verwertet werden,
- abwasserarme Spültechnik eingesetzt bzw. Kreislaufführung des Spülwassers integriert ist,
- bei technologischer Machbarkeit, Wirksubstanzen aus der Spülstufe in das Reinigungsbad rückgeführt werden.

Mit der Änderung der Umweltgesetzgebung bezüglich des Einsatzes von HKW und der sich daraus ergebenden Verschiebung der Anwendungsanzahl zwischen den bekannten Verfahren zum Reinigen von Oberflächen wurde auch eine Reihe von Forschungsvorhaben initiiert. Ein Teil dieser Vorhaben beschäftigte sich schwerpunktmäßig mit technischen Sachverhalten und ein anderer betrachtete insbesondere die ökologische Seite. Tabelle 13 gibt eine Übersicht dieser Forschungsprojekte.

¹⁷⁹ Die Angaben sind von European IPPC Bureau (2000) S. 345 entnommen.

Projekt	Projektziel	Ergebnisse
<p>Minderung organischer Schadstoffemissionen. Verbund: „HKW-Substitution in der Oberflächenreinigung durch Kohlenwasserstoffe(-Wasser)-Systeme und wäßrige Reinigungsanlagen unter Minimierung von Sonderabfall und Waschmitteleinsatz“ Laufzeit: 01.07.1991 – 31.12.1994¹⁸⁰</p>	<p>Entwicklung und großtechnische Erprobung von wässrigen Reinigungssystemen mit wesentlich erhöhter Werkstoffrückgewinnung und damit weitere Minimierung von Reinigereinsatz und Sonderabfall sowie von Kohlenwasserstoff (-/Wasser)-Systemen mit Aufbereitungsverfahren zur Kreislaufführung.</p>	<p>Es wurden Anlagen-Konzepte erarbeitet, welche die Zielstellung der Minimierung von Stoffeinsatz und Sonderabfall durch Wertstoffrückgewinnung erfüllen können. Diese Konzepte wurden technologisch erfolgreich an zwei Praxisanlagen erprobt. Zum Einsatz kamen Technologien der Membranfiltration und der Separation, die Reinigungsschemie wurde optimiert und Analyseverfahren beurteilt.</p>
<p>BMBF-Vorhaben: Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozeßblösungen – Teilvorhaben 2: Gesamtkonzeptentwicklung für Membranverfahren Laufzeit: 01.05.1994 – 31.03.1996¹⁸¹</p>	<p>Untersuchung der praktischen Eignung von Membranverfahren zur Stoffkreislaufschließung der Entfettungsstufe, der Beizlösung sowie des Spülvorganges</p>	<p>Membranverfahren eignen sich zur Aufbereitung von Entfettungsbädern, allerdings führen sauer phosphorhaltige Reiniger zur Verblockung der Membran. Als Ausweg soll der Reiniger modifiziert werden.¹⁸² Spülwasser kann durch Einsatz von Elektrodialyse von Salzen befreit werden und bei kontinuierlicher Aufbereitung konstante Bedingungen geschaffen werden.¹⁸³</p>
<p>Verbundvorhaben: Substitution halogenierter Kohlenwasserstoffe in der Metallreinigung – Teilvorhaben 4 Abschlussbericht von August 1993¹⁸⁴</p>	<p>Entwicklung von Substitutionsverfahren für die HKW-Reinigung zur Senkung der Verbrauchsmengen an HKW. Dabei sollte sich auf wässrige Verfahren konzentriert werden.¹⁸⁵</p>	<p>Der Erfolg des Einsatzes von Membranverfahren zur Aufbereitung hängt von der richtigen Auswahl einzusetzender Membranen ab. Es wurden verschiedene analytische Methoden zur Überwachung von Reinigungslösungen in Labor und Praxis erfolgreich getestet.¹⁸⁶</p>
<p>Forschungsvorhaben: Ersatz und unverzichtbare Einsatzgebiete von Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) Abschlußbericht: Metalloberflächenreinigung mit CKW, KW und wäßrigen Reinigern. Abschlussdatum: 31.07.1994¹⁸⁷</p>	<p>Erarbeitung eines ökologischen Belastungsvergleiches zwischen den Verfahren CKW-, KW- und wässriger Reinigung. Damit sollte festgestellt werden, ob die Substitution der CKW-Reinigung eine ökologische Entlastung und nicht nur eine Verlagerung darstellt.¹⁸⁸</p>	<p>Die neuen Verfahren (wässrige Reinigung und KW) entlasten die Umwelt. Die hohen Lösemittlemissionen werden durch mengenmäßig stark reduzierte und stofflich weniger problematische Emissionen und Abfälle ersetzt. Die modernen Verfahren sind im Schnitt kostengünstiger als alte CKW-Verfahren</p>
<p>Verbund: „Ganzheitliche Bilanzierung/Bewertung von Reinigungs-/Vorbehandlungstechnologien in der Oberflächenbehandlung“ Abschlussdatum: 30.06.1998¹⁸⁹</p>	<p>Ermittlung und Bewertung der mit Reinigungs- und Vorbehandlungstechnologien der Oberflächenbehandlung verbundenen Umweltlasten.¹⁹⁰</p>	<p>Entwicklung eines Tools bestehend aus methodischer Handlungsanleitung, Datenbank und Software zur ökologischen und ökonomischen Beurteilung von technischen Verfahren insbesondere der industriellen Teilereinigung¹⁹¹.</p>

Tabelle 13: Forschungsprojekte zur Thematik Reinigen in der Oberflächentechnik mit technologischen und/oder ökologischen Anspruch
(eigene Darstellung)

¹⁸⁰ Forschungsbericht: Hellstern, R. u.a. (1995).

¹⁸¹ Forschungsbericht Brücken, V. (1996).

¹⁸² Vgl. Brücken, V. (1996) S. 28.

¹⁸³ Vgl. ebenda S. 43.

¹⁸⁴ Forschungsbericht Hater, W. (1993).

¹⁸⁵ Vgl. Hater, W. (1993) S. 6 und S. 8.

¹⁸⁶ Vgl. ebenda S. 38.

¹⁸⁷ Forschungsbericht Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994).

¹⁸⁸ Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. V.

¹⁸⁹ Vgl. Forschungsbericht Kreisel, G. u.a. (1998).

¹⁹⁰ Vgl. Kreisel, G. u.a. (1998) Berichtsblatt.

¹⁹¹ Vgl. ebenda S. 2.

5 Ökologische Bewertung des Prozesses Reinigen in der Oberflächentechnik

Ziel dieses Teils der Arbeit ist es, den Prozess des wässrigen Reinigens aus der ökologischen Sicht zu betrachten und durch eine allgemeine Wertung ökologische Schwachstellen zu identifizieren. Diese Schwachstellen bilden die Ansatzpunkte zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit des Prozesses. Dabei wird der Ansatz der DIN EN ISO 14031 Umweltleistungsbewertung berücksichtigt. Durch die Einführung dieser Norm wurde eine gewisse Standardisierung erreicht, die eine Basis zur Durchführung einer Umweltleistungsbewertung für Organisationen darstellt. Einschränkend ist zu bemerken, dass hier die eigentliche Umweltleistungsbewertung nicht vorgenommen werden kann, da dies ein interner Managementprozess¹⁹² einer Organisation mit deren Strukturen, Prozessen und Zielen ist. Die Anwendung der Umweltleistungsbewertung nur für den „Teil“-Prozess Reinigen ist nicht sinnvoll, da wesentliche Umwelteinflüsse die durch den Output dieses Prozesses entstehen nicht in ihm ihren Ursprung haben. Dies trifft z. B. für die Verunreinigungen zu, die durch vorgelagerte Prozesse entstehen und damit nicht durch Variation des Prozesses beeinflusst werden können. Zur sinnvollen Anwendung sollte die Umweltleistungsmessung sich auf ganze Prozessketten beziehen, die durch miteinander verknüpften Prozessmodulen aufgebaut ist. Auf diese Weise lassen sich Ursache-Wirkungsketten abbilden und zur Gesamtoptimierung nutzen. Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden einige Gedanken zur Umweltleistungsbewertung des Prozesses wässriges Reinigen erarbeitet.

5.1 Umweltleistungsbewertung nach DIN EN ISO 14031

In diesen Teil der Arbeit werden die DIN EN ISO 14031 und deren Vorgehensweise erläutert, da diese Norm nach Meinung des Autors ein sinnvolles Instrument zur Verbesserung der ökologisch-ökonomischen Leistung von Unternehmen darstellt. Durch die Anlehnung an die Vorgehensweise des Controlling wird die Fortentwicklung und Verbesserung von Unternehmen bezüglich ihrer ökologischen Auswirkungen, Wettbewerbsposition und Bestandssicherheit unterstützt.

Die eher passive Methode Ökobilanzierung, deren informative Ausrichtung nur bedingt Antriebe zur Weiterentwicklung liefern kann, wird durch die Umweltleistungsbewertung sinnvoll ergänzt.

Ebenso wie bei ihrer ökonomischen Leistung sind Organisationen zunehmend bestrebt, Kenntnisse über ihre Umweltleistung zu erlangen, darzustellen und zu verbessern.¹⁹³ Als Umweltleistung werden in dieser Norm „die Ergebnisse die aus dem Management der Umweltaspekte einer Organisation resultieren“¹⁹⁴, verstanden. Wobei ein Umweltaspekt ein Bestandteil der Tätigkeit einer Organisation ist, der in Wechselwirkung mit der Umwelt¹⁹⁵ treten kann.¹⁹⁶ Die Definition verknüpft dabei zwei Aspekte. Zum einen den Leistungsaspekt im Hinblick auf das Umweltmanagement und zum anderen die Leistungen bei der Reduktion

¹⁹² Vgl. Sturm, A. (2000) S. 169 sowie DIN EN ISO 14031 S. 3.

¹⁹³ Vgl. der DIN EN ISO 14031 S. 3.

¹⁹⁴ DIN EN ISO 14031 S. 5.

¹⁹⁵ Umwelt ist die Umgebung in der eine Organisation tätig ist. Dazu zählen Wasser, Luft Land, natürliche Ressourcen, Flora, Fauna, der Mensch sowie deren Wechselwirkungen (vgl. DIN EN ISO 14031 S. 4).

¹⁹⁶ Vgl. Definition in der DIN EN ISO 14031 S. 4.

der betrieblichen Umwelteinflüsse bzw. der Umwelteinwirkungen.¹⁹⁷ Ausdruck findet diese Verknüpfung bei der qualitativen Trennung des Managements vom operativen Bereich und den daraus abgeleiteten Kennzahlenkategorien (vgl. Abbildung 22). Managementkennzahlen sind Umweltleistungskennzahlen, die Informationen über die Aktivitäten des Managements zur Beeinflussung der Umweltleistung abbilden. Dagegen stellen operative Leistungskennzahlen Informationen zum operativen Bereich zur Verfügung.¹⁹⁸ Eine weitere Kategorie von Kennzahlen zur Umweltleistungsmessung bilden Umweltzustandsindikatoren, die Informationen über den Zustand der Umwelt geben und so der Organisation helfen können, ihre tatsächlichen oder potentiellen Auswirkungen verstehen zu können.¹⁹⁹

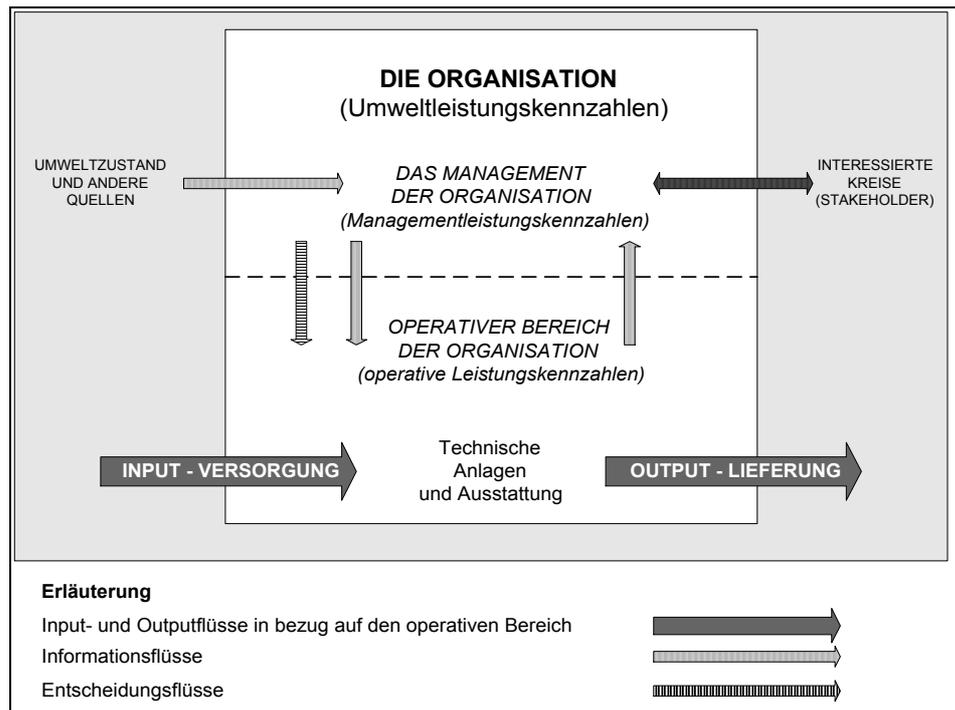


Abbildung 22: Zusammenhänge zwischen Management und operativen Bereich
(in Anlehnung an DIN EN ISO 14031 S. 6)

Die Umweltleistungsbewertung ist ein fortlaufender Prozess der Erfassung und Auswertung von Daten und Informationen, um eine kontinuierliche Leistungsbewertung zu ermöglichen sowie Leistungstrends darzustellen.²⁰⁰ So kann die Umweltleistung einer Organisation gezielt verbessert werden. Dazu benötigte Daten können von den bekannten und schon etablierten Verfahren der Ökobilanzierung und Umweltprüfung gewonnen werden.

Der Vorteil der Umweltleistungsbewertung nach DIN EN ISO 14031 ist, dass diese auch in Unternehmen ohne Umweltmanagementsystem eingesetzt werden kann und so ein schlankes Umweltcontrolling ermöglicht.²⁰¹

Nachfolgend wird der Ablauf der Umweltleistungsbewertung nach DIN 14031 mit den Phasen:

¹⁹⁷ Vgl. Sturm, A. (2000) S. 109.

¹⁹⁸ Vgl. DIN EN ISO 14031 S. 8.

¹⁹⁹ Vgl. ebenda S. 9.

²⁰⁰ Vgl. DIN EN ISO 14031 S. 3.

²⁰¹ Vgl. Sturm, A. (2000) S. 201.

- Planen
- Umsetzen
- Prüfen und Handeln

dargestellt.

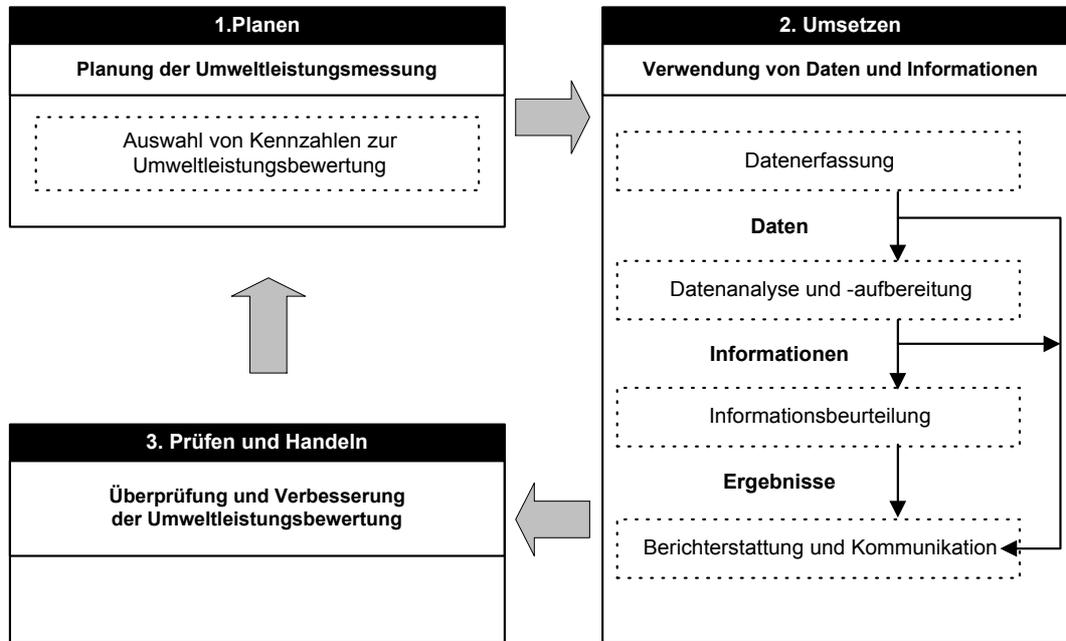


Abbildung 23: Ablauf der Umweltsystembewertung nach DIN EN ISO 14031

(in Anlehnung an DIN EN ISO 14031 S. 6)

Planungsphase

In der Planungsphase wird der Prozess der Umweltsystemmessung vorbereitet. Dabei steht die Auswahl von Kennzahlen zur Durchführung dieses Prozesses im Vordergrund. Zur Auswahl von Kennzahlen werden drei Faktoren vorgeschlagen:

- Die Wesentlichkeit und Beeinflussbarkeit der Umweltaspekte der Organisation.
- Die Umweltsystemkriterien²⁰² der Organisation.
- Die Ansichten/Anliegen der Interessengruppen²⁰³ der Organisation.

Zur Ermittlung der bedeutenden Umweltaspekte für eine Organisation sollten:

- Ausmaß und die Art des Material- und Energieeinsatzes,
- Emissionen,
- Risiken,

²⁰² Unter Umweltsystemkriterien wird in der DIN EN ISO 14031 ein „Allgemeines oder umweltbezogenes Einzelziel oder jedes andere Ausmaß der Umweltsystemleistung, das vom Management einer Organisation festgelegt wurde und zum Zweck der Umweltsystembewertung angewandt wird“, verstanden. Damit kann ein Umweltsystemkriterium als ein Umweltziel verstanden werden.

²⁰³ als Interessierter Kreis definiert die Norm eine Einzelperson oder Gruppe, welche sich von der Umweltsystemleistung einer Organisation betroffen fühlt oder beeinträchtigt wird. Vgl. DIN EN ISO 14031 Abschnitt 2.13 S. 5. Diese Definition entspricht dem durch Freeman, R. E. (1984) S. 25 eingeführten Begriffs des Stakeholders.

- der Umweltzustand sowie
 - gesetzliche und weitere Anforderungen an die Organisation
- berücksichtigt werden.

Voraussetzung für die Planung der Umweltsleistungsbewertung ist die Festlegung der Umweltziele der Organisation. An diesen Zielen ist die Auswahl der Kennzahlen auszurichten. Nur so kann die Umweltsleistung der Organisation bezüglich ihrer Umweltziele abgebildet und eingeschätzt werden.

Umsetzungsphase

In der Umsetzungsphase sind die notwendigen Daten zu erfassen, zu analysieren bzw. aufzubereiten und zu beurteilen. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sind intern oder extern zu kommunizieren und in Handlungen und Entscheidungen durch das Management umzusetzen.²⁰⁴

Die Daten sind regelmäßig und systematisch aus den in der Planungsphase festgelegten Quellen zu erheben. Dabei sollte die Verlässlichkeit der Daten sichergestellt werden.

Die Datenanalyse und -aufbereitung überführt die Daten in die, durch die Planung, festgelegten Kennzahlen. Die so gewonnenen Kennzahlen werden anschließend im Rahmen der Informationsbeurteilung mit den Umweltzielen verglichen. Daraus lassen sich Fortschritte und Mängel im Bereich der Umweltsleistung aufzeigen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind dann durch das Management in entsprechende Maßnahmen zu überführen.

Die ermittelte Umweltsleistung ist intern und kann extern zur Information interessierter Kreise kommuniziert werden. Die interne Berichterstattung unterstützt die entsprechenden Stellen bei der Wahrnehmung ihrer Verantwortung und die Organisation bei der Erfüllung ihrer Umweltziele.²⁰⁵

Eine freiwillige Kommunikation nach außen an interessierte Kreise hängt von den Zielen des Managements ab, kann aber dazu genutzt werden, die Außenbeziehungen positiv zu beeinflussen.

Phase des Prüfens und Handelns

In dieser Phase ist die Durchführung der Umweltsleistungsbewertung zu überprüfen und gegebenenfalls zu verbessern.²⁰⁶ Diese Überprüfung kann Maßnahmen zur Verbesserung der Leistung des Managements und des operativen Bereiches der Organisation sowie zur Verbesserung des Zustandes der Umwelt führen. Zu überprüfende Punkte sind unter anderem:

- Richtigkeit der gewählten Umweltziele
- Erfüllungsgrad der Umweltziele
- Kosteneffizienz und Vergleich zum erzielten Nutzen

²⁰⁴ Vgl. DIN EN ISO 14031 S. 18ff.

²⁰⁵ Vgl. ebenda S. 20f.

²⁰⁶ Vgl. DIN EN ISO 14031 S. 23.

- Wahl der Datenquelle, Methoden der Datenerfassung, Datenqualität und adäquate Kennzahlen

Die periodisch auftretende Phase des Prüfens und Handelns bildet den Startpunkt einer wiederholten Durchführung der Umweltleistungsbewertung.

5.2 Potentielle prozessorientierte Umweltziele oberflächentechnischer Unternehmen

Wie in Kapitel 5.1 dargelegt, bilden die festgelegten Umweltziele einer Organisation die Grundlage für eine Umweltleistungsbewertung. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist die Ausrichtung der Ziele an den Interessen der Stakeholder sowie an der Bedeutung und der Beeinflussungsmöglichkeit durch die Organisation. Die Bedeutung einer Zielkategorie kann auch mittelbar durch die Interessen der Stakeholder abgebildet werden.²⁰⁷ Denn nur bei identifizierbaren Stakeholdergruppen und deren wahrgenommen Ansprüchen kann man davon ausgehen, dass sich aus diesen Sachverhalten Risiken und Chancen mit Bedeutung für das Unternehmen ergeben²⁰⁸.

Die Gruppen von Stakeholdern, wie Staat, Wettbewerber, Kunden, Mitarbeiter u.a., lassen sich den drei sogenannten Lenkungssystemen:

- Recht und Politik
- Markt und Technologie
- Moral

zuordnen. Über diese Lenkungssysteme wird die Zielbildung einer Organisation auf der Formal- und Sachzielebene durch die Stakeholder beeinflusst.²⁰⁹ Zu unterscheiden sind dabei die Stakeholder aufgrund ihrer Systemzugehörigkeit nach externen und internen Stakeholdern. Die Umweltziele einer Organisation können somit auch aus dem Informationsanspruch ökologieorientierter Stakeholder abgeleitet werden. Die entsprechenden Wirkungen auf die Ziele in Abhängigkeit des Lenkungssystems und der Stakeholdergruppe werden durch Tabelle 14 dargestellt.

²⁰⁷ Vgl. Sturm, A. (2000) S. 93.

²⁰⁸ Vgl. ebenda S. 19.

²⁰⁹ Vgl. Sturm, A. (2000) S. 99f.

Stakeholderorientierte Sichtweise eines Unternehmens			
Sachzielebene			
Lenkungssystem	Recht/Politik	Markt und Technologie	Moral
Externe ökologieorientierte Stakeholder	Staat	(implizit: Staat), Wettbewerber und Kunden	(implizit: Staat, Wettbewerber und Kunden), Öffentlichkeit
Informationsanspruch externer ökologieorientierter Stakeholder bzw. Zielsetzungen	Erfüllung umweltrelevanter Vorschriften	Aufdeckung interner ökologischer und ökonomisch-ökologischer Schwachstellen sowie Realisierung von Wettbewerbsvorteilen	Gesellschaftlich akzeptiertes Umwelt-, Sozialverhalten etc. des Unternehmens
Interne ökologieorientierte Stakeholder	Mitarbeiter; Eigenkapitalgeber/ Eigentümer	Mitarbeiter; Eigenkapitalgeber/ Eigentümer	Mitarbeiter; Eigenkapitalgeber/ Eigentümer
Informationsanspruch interner ökologieorientierter Stakeholder bzw. Zielsetzungen	Einhaltung der umweltrelevanten Vorschriften (Rechtssicherheit)	Wettbewerbsfähiges und ökologieorientiertes Produktionsverhalten des Unternehmens	Sicherung der langfristigen Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen; Positionierung als ökologieorientierter Vorreiter
Ökologieorientierte Strategie des Unternehmens	defensiv	offensiv	innovativ

Tabelle 14: Gruppen von Stakeholdern und verbundene Sachzielkategorien
(in Anlehnung an Sturm, A. (2000) S.102)

Auf der Grundlage dieser Tabelle werden in den folgenden Kapiteln potentielle Umweltziele für die einzelnen Lenkungssysteme abgeleitet.

5.2.1 Lenkungssystem Recht/Politik

Um den Informationsanspruch der internen bzw. externen Stakeholder im Lenkungssystem Recht/Politik gerecht zu werden, muss es das Ziel eines Unternehmens sein, die für sich geltenden umweltrelevanten Vorschriften zu erfüllen und einzuhalten. Auch Unternehmen, die oberflächentechnische Prozesse betreiben, unterliegen rechtlichen Vorschriften aus mehreren Gesetzen, Richtlinien und Verordnungen, wie z.B. dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) oder der Abwasserverordnung (AbwV). Tabelle 15 wird dazu eine allgemeine Übersicht der rechtlichen Regelungen für Unternehmen, die wässrige Reinigungsprozesse betreiben, geben.

Zusammenfassend lassen sich aus diesem Überblick für den Prozess des wässrigen Reinigens folgende potentiell relevante Umweltziele über das Lenkungssystem Recht/Politik ableiten:

- Maximale Reduktion der eingesetzten Stoffe und Energien
- Minimierung der Abfall- und Abwasserentstehung durch Prozessoptimierung, wie der Einsatz von Spülwasserkreisläufen, verhindern von Verschleppung und Durchführung standzeitverlängernder Maßnahmen.²¹⁰
- Nicht vermeidbare Abfälle sind möglichst zu verwerten.
- Der Einsatz gefährlicher Stoffe, unabhängig vom Expositionsweg (Wasser, Luft), ist zu vermeiden. Solche Stoffe sind durch Substitution gegen andere oder durch Substitution des Verfahrens aus dem betrieblichen Erstellungsprozess zu entfernen.

²¹⁰ Vgl. Adams, K. H. (1999) S. 258.

- Die Anlagen sind in angemessenen Zeiträumen mindestens auf den Stand der Technik (vgl. Kapitel 4.4) zu bringen.

Gesetz / VO / Richtlinie	Inhalt / Geltung	Anforderungen an den Betrieb von Reinigungsanlagen
Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/ AbfG)	<ul style="list-style-type: none"> - Das KrW-/ AbfG gilt nach §2 Abs. (1) für Abfälle zur <ol style="list-style-type: none"> 1. Vermeidung 2. Verwertung 3. Beseitigung, wobei Abfälle nach §3 Abs. (1) „alle beweglichen Sachen, die unter die in Anhang I aufgeführten Gruppen fallen und deren sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß“, sind. - Das Gesetz gilt nicht für Stoffe, die nach §2 Abs. (2) Nr. 6 „sobald diese in Gewässer oder Abwasseranlagen eingeleitet oder eingebracht werden.“ 	<ul style="list-style-type: none"> - Abfälle sind in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit und in zweiter Linie (a) stofflich zu verwerten oder (b) zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung). Das geht aus den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft hervor, die in §4 des KrW-/ AbfG geregelt sind.
Chemikaliengesetz (ChemG)	<ul style="list-style-type: none"> - Zweck des ChemG ist nach §1 „Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Zubereitungen zu schützen, insbesondere sie erkennbar zu machen, sie abzuwenden und ihrem Entstehen vorzubeugen.“ - Im 2. Abschnitt (§§ 4 – 12) werden die Pflichten für die Anmeldung von neuen Stoffen geregelt. - Der 3. Abschnitt (§§ 13 – 15a) legt Regeln zur Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe fest. 	<ul style="list-style-type: none"> - Als gefährlich werden nach §3a Abs. 1 Stoffe eingestuft, die u.a. giftig, gesundheitsgefährlich, ätzend, reizend, sensibilisierend, kebserzeugend, fortpflanzungsgefährdend, erbgutverändernd oder umweltgefährlich sind. Wobei umweltgefährliche Stoffe im Abs. 2 als „Stoffe oder Zubereitungen...“, die geeignet sind, die Beschaffenheit des Naturhaushaltes, von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, daß dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden können“ deklariert werden. - Mit § 19 wird die Bundesregierung ermächtigt, Vorschriften und Maßnahmen zum Schutz von Beschäftigten bei der Herstellung und Verwendung gefährlicher Stoffe festzulegen. Außerdem kann die Bundesregierung nach §17 Verbote und Beschränkungen erlassen, welche die Herstellung und Verwendung gefährlicher Stoffe regeln.
Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	<ul style="list-style-type: none"> - Regelung zur Nutzung der Gewässer 	<ul style="list-style-type: none"> - Gewässerbenutzung bedarf einer Erlaubnis oder Bewilligung. (§2) - Abwasser darf nur dann eingeleitet werden, wenn seine Schadstofffracht so gering gehalten wird, wie es nach dem Stand der Technik möglich ist. (§7a) - Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen müssen den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. (§§19g-l) - der Stand der Technik wird durch die Abwasser-Verordnung mit ihren Anhängen definiert.
Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG)	<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmungen über das Inverkehrbringen, Benutzen sowie die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln. (§1, §4, §5 und §9) 	<ul style="list-style-type: none"> - §1 (3) fordert, dass „Technische Einrichtungen, die der Reinigung mit Wasch- und Reinigungsmitteln dienen, ...“ so gestaltet sein sollen, „...“, dass bei ihrem ordnungsgemäßen Gebrauch so wenig Wasch- und Reinigungsmittel und so wenig Wasser und Energie wie möglich benötigt werden.“
Abwasserverordnung (AbwV)	<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmt die Anforderungen, die bei Erteilung einer Erlaubnis für das Einleiten von Abwasser in Gewässer festzusetzen sind. (§1 (1)) 	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine Anforderungen sind die Minimierung der Schadstofffracht²¹¹ durch Einsatz wassersparender Verfahren und Einsatz von schadstoffarmen Betriebs- und Hilfsstoffen. (§3 (1)) - Verdünnungs- und Vermischungsverbot zur Grenzwerteinhalten. (§3 (3) & (4)) - Festlegung einheitlicher Analysen- und Messverfahren (DIN-Verfahren) zur Untersuchung von Abwasserproben. (§4) - Detaillierte Regelungen für Metallbe- und verarbeitendes Gewerbe werden in einem herkunftsspezifischen Pflichtenheft, dem Anhang 40 geregelt. Unter anderem werden Grenzwerte vorgeschrieben und die Allgemeinen Anforderungen konkretisiert.

Tabelle 15: Überblick der gesetzlichen Regelungen für Unternehmen, die wässrige Reinigungsprozesse betreiben
(eigene Darstellung)

²¹¹ die Schadstofffracht bestimmt sich aus der Auslaufkonzentration des Schadstoffes und dem Volumen des Abwassers.

$$(m_S = c_S \cdot V_{\text{Abwasser}})$$

5.2.2 Lenkungssystem Markt / Technologie und Lenkungssystem Moral

Die Ziele bzw. die Ansprüche dieser Lenkungssysteme sind direkt durch das betroffene Unternehmen mit seinen identifizierten Stakeholdern zu realisieren.

Nur das Unternehmen selbst kennt seinen Markt, verfügt über Wissen zu seinen angewandten und potentiellen Technologien und ist durch die Ideale der Unternehmensführung entsprechend moralisch ausgerichtet.

Unter dem Aspekt der langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit, kann das Umweltziel der Technologieführerschaft beim Betrieb oberflächentechnischer Prozesse durch den Einsatz der aktuellsten Umweltschutztechnologien abstrahiert werden. Dies kann in operative Ziele, wie abwasserfreier Betrieb der

wässrigen Reinigung oder Minimierung der prozessbedingten Produktion fehlerhafter Teile münden.

Im Rahmen des Lenkungssystems Moral kann sich ein Unternehmen aufgrund der öffentlichen Diskussion entschließen, sich den Prinzipien des nachhaltigen Wirtschaftens auszurichten. Wie sich ein solches Formalziel auf operable Sachziele umsetzen lässt, hängt dann von Unternehmensmanagement, Struktur und Organisation eines Unternehmens ab.

Aus den dargelegten Gründen lassen sich im Rahmen dieser Untersuchung keine verlässlichen Ziele aus diesen Lenkungssystemen ableiten.

5.2.3 Abgeleitete Umweltziele für den Prozess wässriges Reinigen

Zur Beurteilung der Umweltleistung auf der Prozessebene sind klare Umweltziele operativen Charakters notwendig. Der Zeithorizont ist dabei auf Mittel- bis Langfristigkeit auszudehnen, damit auch umfangreichere Maßnahmen zur Verbesserung von Prozessen durch diese Umweltziele beeinflussbar bleiben. In diesem Zusammenhang sind nur solche Ziele zu berücksichtigen, die auch durch Aktivitäten im Rahmen der Systemgrenze des Prozesses realisiert werden können. Für eine Umweltleistungsbewertung in einem Unternehmen sollten dann auf einer höheren Ebene, die mehrere Prozesse zusammenfassend betrachtet, Umweltziele definiert werden. Auf diese Weise kann eine gemeinsame Ausrichtung und Optimierung der Prozesse vorgenommen werden.

Für den Prozess wässriges Reinigen können aus den Betrachtungen des Kapitels 5.2.1 und aus diversen relevanten Literaturstellen folgende Zielkategorien postuliert werden:

1. Abwasser:
Senkung der Quantität von Abwasser mit dem Ziel der abwasserfreien Produktion²¹² sowie Einhaltung der geforderten gesetzlichen Grenzwerte.
2. Wasser:
Senkung des Verbrauchs von Wasser als Rohstoff durch prozessinterne Kreislaufführung.²¹³

²¹² Vgl. Heinrich, J. (1997) S. 1.

²¹³ Vgl. Brücken, V. (1996) S. 15.

3. Abfall:
Abfallvermeidung durch Senkung des Eintrages von Verschmutzung²¹⁴ und Verwertung abgereinigter Bestandteile.
4. Energie:
Senkung des Energieverbrauches durch optimierte Badführung und Prozessgestaltung
5. Effizienz:
Steigerung der Effizienz des Prozesses durch optimierte und kontrollierte Badführung.²¹⁵

Für die festgestellten Zielkategorien sind im Rahmen der Planungsphase der Umweltleistungsbewertung aussagekräftige operative Umweltkennzahlen festzulegen. Einige Ansätze dazu werden im folgenden Kapitel 5.3 vorgestellt.

5.3 Vorschlag für Kennzahlen zur Bewertung des Prozesses wässriges Reinigen

Kennzahlen, die der Bewertung der Umweltleistung einer Organisation dienen sollen, müssen die identifizierten Umweltaspekte der Organisation abbilden. Solche Kennzahlen werden als Umweltkennzahlen bezeichnet.²¹⁶ Umweltkennzahlen weisen drei besondere Merkmale auf:²¹⁷

- Umweltkennzahlen müssen in Verbindung zu möglichen Umweltzielen stehen und diese messbar machen.
- Umweltkennzahlen müssen sich auf die wesentlichen und vom Unternehmen beeinflussbaren Umweltaspekte konzentrieren.
- Umweltkennzahlen müssen betriebliche Sachverhalte quantifiziert abbilden und durch Vergleiche Abweichungen oder Veränderungen sichtbar machen.

Da Kennzahlen Informationen meist stark verdichten und die Grundlage für Entscheidungen bilden, müssen sie Anforderungen, wie:

- bedeutsam und nützlich,
- einfach anzuwenden,
- objektiv und wertneutral,
- überprüfbar,
- reproduzierbar und
- vergleichbar

genügen.²¹⁸

Zur Bildung relativer Kennzahlen sind aussagekräftige Bezugsgrößen festzulegen, zu denen die absoluten Basiswerte in Beziehung gesetzt werden.²¹⁹ Für den Prozess Reinigen kann diese

²¹⁴ Vgl. European IPPC Bureau (2000) S. 351.

²¹⁵ Vgl. ebenda S. 351.

²¹⁶ Vgl. Goldmann, B.; Weber, F. (1995) S. 6.

²¹⁷ Vgl. Rauberger, R.; Wagner, B. (1997) S. 23.

²¹⁸ Vgl. Seidel, E.; Clausen, J.; Seifeert, E. K. (1998) S. 53.

²¹⁹ Vgl. Rauberger, R.; Wagner, B. (1997) S. 21.

Bezugsgröße für Zeitvergleiche eine Periode sein, die sich nach der angestrebten Intensität der Umweltleistungsbewertung richtet (einmal pro Jahr, quartals- oder monatsweise).

Sollen Werte in Bezug zur prozessverursachenden Größe beurteilt werden, so ist die Menge an Reinigungsleistung heranzuziehen. Die Reinigungsleistung ist dabei im Idealfall als die Gesamtoberfläche A_O [m^2] aller gereinigten Teile einer Bezugsperiode erfassbar. Diese Gesamtoberfläche kann aus der spezifischen Teileoberfläche A_{OT} und der Anzahl n gereinigter Teile einer Teilekategorie gebildet werden. Werden mehrere Teilekategorien im Prozess gereinigt, so sind die Oberflächen entsprechend zu summieren. Während die Bestimmung der Anzahl von gereinigten Teilen kein Problem darstellt, kann sich die Ermittlung der spezifischen Teileoberfläche für Teile mit komplizierten Geometrien schwierig gestalten. In diesen Fällen sollte als beste Alternative das spezifische Teilevolumen V_T [m^3 oder l], welches sich mit einfachen physikalischen Methoden (Messung der Verdrängung) ermitteln lässt, herangezogen werden. Eine weitere Möglichkeit bei geringer Teilevielfalt und ähnlichen Größen der Teile ist die Wahl der Stückzahl n als Bezugsgröße.

Alle folgenden vom Verfasser vorgeschlagenen Kennzahlen beziehen sich auf den Prozess Reinigen. Die benutzten Symbole sind bei mehrfacher Anwendung für weitere Prozesse im Rahmen einer Umweltleistungsbewertung, mit dem Ziel der richtigen Zuordnung, weiter zu spezifizieren.

Kennzahlen für die Zielkategorie Abwasser

Zur Abbildung der Kategorie Abwasser sollten Kennzahlen zur Aussage über Quantität und Qualität gebildet werden. In folgender Tabelle werden möglich Kennzahlen aufgeführt.

Symbol	Größe	Einheit
V_{Ab}	Anfall von Abwasser aus dem Reinigungsprozess	m^3/a
V_{As}	spezifischer Abwasseranfall pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil	m^3/m^2 m^3/m^3 m^3/n
c_{Si}	durchschnittliche Konzentration des Schadstoffes i im Abwasser	mg/l
$n_{Gü}$	Anzahl der Grenzwertüberschreitungen	a^{-1}

Tabelle 16: Kennzahlen für die Zielkategorie Abwasser

(eigene Darstellung)

Kennzahlen für die Zielkategorie Wasser

Kennzahlen für diese Kategorie sollten sich auf die effiziente Nutzung von Wasser konzentrieren und auch Vorgänge, die den Wasserverbrauch beeinflussen, berücksichtigen.

Symbol	Größe	Einheit
V_A	Wasserbedarf des Reinigungsprozesses	m^3/a
V_{As}	spezifischer Wasserverbrauch pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil	l/m^2 l/m^3 l/n
V_{WK}	Menge des im Kreislauf geführten Wassers	m^3/d
$Z_{W/WK}$	Verhältnis des Wasserverbrauches zur Menge des im Kreislauf geführten Wassers	$\frac{m^3/d}{m^3/d}$

Tabelle 17: Kennzahlen für die Zielkategorie Wasser
(eigene Darstellung)

Kennzahlen für die Zielkategorie Abfall

Der anfallende Abfall sollte hinsichtlich Menge, Qualität und Vermeidungs- und Wertungspotential beurteilt werden. Dies könnte mit folgenden Kennzahlen realisiert werden.

Symbol	Größe	Einheit
m_A	Abfallmenge	kg/a
m_{AV}	verwertbare Abfallmenge	kg/a
$Z_{AV/A}$	Verhältnis verwertbarer Abfallmenge zu Gesamtabfallmenge	$\frac{kg/a}{kg/a}$
m_{As}	spezifische Abfallmenge pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil	m^3/m^2 m^3/m^3 m^3/n
n_{GS}	Anzahl gefährlicher Substanzen im Abfall	

Tabelle 18: Kennzahlen für die Zielkategorie Abfall
(eigene Darstellung)

Kennzahlen für die Zielkategorie Energie

Kennzahlen zum Bereich Energie sollten den effizienten Einsatz der Energie und die Erfolge von Einsparmaßnahmen darstellen können.

Symbol	Größe	Einheit
E_a	jährlich verbrauchte Energiemenge	kWh/a
E_s	spezifischer Energieverbrauch pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil	Wh/m^2 Wh/m^3 Wh/n
E_{ai}	an einzelnen Energieträgern i verbrauchte Energie	kWh/a
E_{ES}	durch Energiesparmaßnahmen eingesparte Energie	kWh/a oder kWh/m^2

Tabelle 19: Kennzahlen für die Zielkategorie Energie
(eigene Darstellung)

Kennzahlen für die Zielkategorie Effizienz

Durch Steigerung der Effizienz des Prozesses wässriges Reinigen wird das Verhältnis von Input und Output verbessert, was sich positiv auf die Umwelteinflüsse auswirkt. Neben den bereits dargestellten Kennzahlen, die in den zuvor aufgeführten Kategorien für die Messung der Effizienz, stehen werden in der folgenden Tabelle weitere vorgeschlagen.

Symbol	Größe	Einheit
m_{RMS}	spezifische Menge eingesetzter Reinigungsmittel pro gereinigtem m^2 Oberfläche/ m^3 Reinigungsgut/ gereinigtem Teil	ml/m^2 ml/m^3 ml/n
A_{AS}	Anteil der gereinigten Fläche, die nicht der geforderten Reinigungsqualität entspricht an der insgesamt gereinigten Fläche (oder Volumen bzw. Stückzahl)	%

Tabelle 20: Kennzahlen für die Zielkategorie Effizienz
(eigene Darstellung)

Die hier vorgestellten Kennzahlen stellen eine Auswahl dar. Sie sind an den entsprechenden Zweck der Umweltleistungsbewertung des Unternehmens anzupassen und unter Beachtung der gegebenen Möglichkeiten der wirtschaftlichen Datengewinnung zu planen.

5.4 Ökologische Schwachstellen des Prozesses wässrigen Reinigen

Die Vielfalt der Verfahren und Technologien zur Durchführung der wässrigen Reinigung lassen keine eindeutige Aussage zu den ökologischen Schwachstellen dieses Prozesses zu. Die Schwachstellen hängen vielmehr von der spezifischen Ausgestaltung des Prozesses ab und können nur an konkreten Anlagen beurteilt werden. Folgende potentielle ökologische Schwachstellen des Prozesses wässriges Reinigen sind denkbar. Sie werden insbesondere durch die Untersuchungen von LEISEWITZ und SCHWARZ²²⁰ sowie dem Projekt „Ganzheitliche Bilanzierung“²²¹ bestätigt.

- Die mit dem Energieverbrauch, insbesondere dem Stromverbrauch der Reinigungsanlagen verknüpften Umweltbelastungen sind als hoch einzustufen²²²
- Der Wärmeverlust bei offenen Bädern ist beträchtlich und weist ein klares Optimierungspotential auf.²²³
- Die Auslastung bzw. optimale Dimensionierung der Anlage ist entscheidend für die ökologische Effizienz der Teilereinigung²²⁴
- Die Optimierung der Anlage und Betriebsführung haben starken Einfluss auf die ökologische Effizienz des Prozesses²²⁵
- Die Abwasserbelastung kann durch Optimieren des Einsatzes der Reinigerchemie und der Prozesstechnologie stark verringert werden.²²⁶

Für die Beseitigung dieser möglichen ökologischen Schwachpunkte eines Prozesses wässriges Reinigen stehen einige ausgereifte Technologien zur Verfügung. Damit kann der Prozessbetreiber mit Unterstützung von beratenden Einrichtungen seinen Prozess ökologisch optimieren. Viele Berichte in der Literatur weisen solchen Optimierungen auch eine Steigerung der Kosteneffizienz aus, so dass sich diese ökologischen Investitionen in der Regel amortisieren.

²²⁰ Forschungsbericht Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994).

²²¹ Forschungsbericht Kreisel, G. u.a. (1998).

²²² Vgl. Kreisel, G. u.a. (1998) S. 5. sowie Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. VIII.

²²³ Vgl. ebenda S. 6.

²²⁴ Vgl. ebenda S. 5.

²²⁵ Vgl. ebenda S. 67.

²²⁶ Vgl. Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994) S. VIIIff.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, Reinigungsprozesse in der Oberflächentechnik insbesondere aus der ökologischen Sicht einer Bewertung zu unterziehen. Dabei sollte festgestellt werden, inwieweit integrierte Umweltschutztechnologien bereits zur Anwendung kommen bzw. ob Handlungsbedarf zur weiteren Erforschung und Entwicklung besteht.

Zur Umsetzung dieser Thematik wurde deshalb im ersten Schritt die Oberflächentechnik, als die Branche, in der in großem Umfang Reinigungsprozesse angewandt werden, näher betrachtet. In diesem Zusammenhang erfolgte die Einordnung und Herausarbeitung der Bedeutung bereits angewandter Reinigungsverfahren. Dabei ist festgestellt worden, dass die wässrigen Verfahren die am häufigsten eingesetzten Anwendungen zur Reinigung von Oberflächen sind. Aus diesem Grund bildet der Prozess wässriges Reinigen/Entfetten den Mittelpunkt der Betrachtungen in dieser Arbeit. Es ist aber auch festzustellen, dass neuere Ansätze zur Vermeidung eines Reinigungsprozesses, wie die Fertigungsintegrierte Oberflächenbehandlung oder die Trockenbearbeitung, bereits erforscht werden. Durch sie können für einige Fertigungsverfahren bisher notwendige Reinigungsschritte entfallen und so wirtschaftliche und ökologische Vorteile erzielt werden.

Die vorgenommene Systematisierung und Analyse des Prozesses wässriges Reinigen zeigt das breite Spektrum von möglichen Variationen der Anwendungsparameter auf, die bei der Realisierung neuer Anlagen zu berücksichtigen und optimieren sind. Durch die anschließende Betrachtung der Stoff- und Energieströme wurden die am Reinigungsprozess beteiligten Input- und Outputgrößen identifiziert. Sie verursachen die Kosten und spiegeln den Verbrauch an Ressourcen und den Output an Produkten sowie Kondukten wider. Erst durch die Erfassung dieser Größen ist eine ökologische und ökonomische Bewertung des Prozesses im Ist-Zustand möglich. Gleichzeitig können Schwachstellen in der Prozessgestaltung erkannt werden, die zur ökologisch-ökonomischen Optimierung notwendige Veränderungen durch interne oder externe Prozessvariationen nach sich ziehen. Durch die umfangreiche Recherche aktueller Publikationen, der Literatur und im Internet sowie Auswertungen von Produktangeboten der Unternehmen im Markt oberflächentechnischer Technologien, ist festgestellt worden, dass bereits einige Verfahren zum integrierten Umweltschutz angeboten und erforscht werden. Die bedeutendsten davon sind in die Betrachtungen einbezogen worden.

Zur Erreichung einer möglichst hohen ökologisch-ökonomischen Effizienz werden in der Branche schon Verfahren zur Aufbereitung der Prozessmedien und Wiedergewinnung von Wert- und Wirkstoffen eingesetzt. Hier sind vor allem die Membranverfahren und die Umkehrosmose zu erwähnen. Einen wesentlichen Einfluss auf das ökologische Ergebnis des Prozesses Reinigen hat auch die optimale Wahl der Verfahrensparameter. Zum einen kann so der Verbrauch an Eingangsstoffen gesenkt werden und zum anderen wird der Anfall von Abwasser und Abfall minimiert. Ein weiterer und wichtiger Vorteil einer optimierten Prozessführung ist die gesteigerte Prozessqualität, die sich in einem konstanten Reinigungsergebnis ausdrückt und somit auch die spätere Qualität der in diesem Schritt gereinigten Produkte sichert. Bei dem Einsatz von Aufbereitungs- und Wiedergewinnungstechnologien ist es besonders wichtig, die Veränderungen der Badparameter zu überwachen. Dies liegt darin begründet, dass es bei der Aufbereitung der Reiniger- und Spüllösungen zu Veränderungen

der Zusammensetzung der Bestandteile und deren Konzentration kommt. Aus dieser Situation heraus besteht ein hoher Bedarf an Sensorik, welche die entscheidenden Parameter sicher erfassen und abbilden kann. Für diesen Bereich des Prozesses besteht ein Forschungsbedarf zum Einsatz neuer Messmethoden und vor allem deren Einbindung in die Prozessmodelle zur automatisierten Regelung und Überwachung.

Bei der Ausarbeitung der Thematik wurde aber auch festgestellt, dass eine theoretische Umweltleistungsmessung eines Prozesses ohne Bezug zu einem konkreten Standort mit all seinen Faktoren und der Einbindung des betreibenden Unternehmens nicht sinnvoll durchgeführt werden kann. Aus diesem Grund wurde hier nur überblicksweise eine Idee zum Einsatz der Umweltleistungsmessung nach DIN 14031 durch Ableitung potentiell möglicher Umweltziele und der Planung dazu entsprechender Kennzahlen gegeben.

Ingesamt kann abschließend konstatiert werden, dass mit der vorliegenden Arbeit ein Überblick über den Prozess des Reinigens in der Oberflächentechnik gegeben wurde und insbesondere der Prozess des wässrigen Reinigens kritisch aus ökologischer Sicht betrachtet wurde. Dabei konnte ein bereits hohes Aktivitätsniveau an Forschung zum Reinigungsprozess erkannt werden, welches die Bedeutung dieses Prozesses für Unternehmen und Umwelt unterstreicht.

Anhang

Übersicht zu Verbänden und Organisationen mit Bezug zur Oberflächentechnik

(Quelle: Seibt Verlag GmbH (2001) (Hrsg.) S. 8)

Verband, Organisation	Straße	Land	PLZ	Ort	Vorwahl	Telefon	Fax	E-Mail	Internet
Arbeitsgemeinschaft Galvano- und Oberflächentechnik	Horionplatz 6	D	40213	Düsseldorf	0211	13 23 81	32 71 99		
Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V.	Bayenthalgürtel 23	D	50968	Köln	0221	3 76 80-0	3 76 80-27		
Bundesinnungsverband der Graveure, Galvaniseure, Gürtler und verwandter Berufe	Elisenstr. 5	D	42651	Solingen	0212	20 80 10	20 45 60		
Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.		D	40215	Düsseldorf					
Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V.	Horionplatz 6	D	40213	Düsseldorf	0211	13 23 81	32 71 99	DGO.AGG.Duesseldorf@t-online.de	http://www.dgo-online.de
DVO Deutscher Verband für Oberflächenvergütung e.V.	Brunnenstr. 10b PF 12 20	D	25774 25774	Lunden Lunden	04882	8 20	3 50		
Gesamtverband der Deutschen Aluminiumindustrie	Bonneshof 5	D	40474	Düsseldorf	0211	4 79 60			
GSB INTERNATIONAL Gütegemeinschaft für die Stückbeschichtung von Bauteilen e.V.	Franziskanergasse 6	D	73525	Schwäbisch Gmünd	07171	6 80 55	53 00	gsb@gsb-international.de	
Gütegemeinschaft Anodisiertes Aluminium e.V. (GAA)	Marientorgraben 13 PF 42 43	D	90402 90022	Nürnberg Nürnberg	0911	20 44 41	22 67 55	Industrieverbaende-Nbg@t-online.de	
Gütegemeinschaft für die Reinigung von Metallfassaden e.V.		D	90022	Nürnberg					
Gütegemeinschaft Galvanotechnik e.V.	Horionplatz 6	D	40213	Düsseldorf	0211	8 67 85 15	32 71 99	info@guetegem-galvanotechnik.de	http://www.guetegem-galvanotechnik.de
Industrieverband Feuerverzinken e.V.	Sohnstr. 70	D	40237	Düsseldorf	0211	6 79 00 04	68 95 99	feuerverzinken@t-online.de	http://www.feuverzinken.com
Industrieverband Härtetechnik	Goldene Pforte 1 PF 9 02	D	58093 58009	Hagen Hagen	02331	95 88-21 + 25	5 10 46		
SGO Schweizerische Gesellschaft für Oberflächentechnik	Bachtelenweg 8	CH	3254	Messen	031	7 65 59 60	7 65 59 61		
Verband f. d. Oberflächenveredelung von Aluminium e.V. (VOA)	Marientorgraben 13	D	90022	Nürnberg	0911	20 44 41	22 67 55	Industrieverbaende-Nbg@t-online.de	http://www.voa.de
Verband Galvanobetriebe der Schweiz (VGAS)	Wartenbergstr. 47	CH	4052	Basel	061	3 19 95 91			

Literaturverzeichnis

- ABAG-Abfallberatungsagentur (Hrsg.) (1995): Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren – Galvanotechnik. Fellbach 1995.
- Ackermann, K. (1999): Umkehrosmose. Teil 5/4.5 In: Gräf, R. u.a. (1993): Abwassertechnik in der Produktion. Augsburg, Loseblattsammlung, Stand Nov. 2000.
- Adams, K. H. (1999): Oberflächenvorbehandlung. Weinheim, New York, Chichester u.a. 1999.
- Angerer, G. u.a. (1997): Umwelttechnologie am Standort Deutschland. Heidelberg 1997.
- Becker, S. (1995): Querschnittstechnologie Maschinen- und Anlagenbau – Basis für die industrielle Infrastruktur. In: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (Hrsg.) (1995): Maschinen- und Anlagenbau im Zentrum des Fortschritts. Frankfurt a. M. 1995, S.89-96.
- Benz u.a. (1995): Umweltschutzanforderungen in der Metallindustrie. 3. ergänzte und überarbeitete Auflage, Frankfurt a. M. 1995.
- Bessey, H. (1979): Moderne Technik bei Vorbehandlungsanlagen zur Verringerung der Umweltbelastung. In: *mo Metalloberfläche*. 33. Jg. 1979, S. 372.
- Bosse, K (2001): Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich Oberflächentechnik – ein Beitrag zur Harmonisierung der Umweltstandards in Europa. In: Zielonka, A. (Hrsg.): *Jahrbuch Oberflächentechnik*. Isernhagen 2001, S. 279-286.
- Breuer, W. (1999): Umweltentlastendes Metallreinigungsverfahren. In: *Galvanotechnik*, 90. Jg., 1999, Heft 5, S. 1346.
- Brunn, K. (1993): Reinigen in der Galvanotechnik. In: *Galvanotechnik*, 84. Jg., 1993, Heft 4, S. 1158-1160.
- Brücken, V. (1996): Abschlußbericht BMBF-Vorhaben: Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozeßlösungen – Teilvorhaben 2: Gesamtkonzeptentwicklung. Förderkennzeichen 01 ZH 9403/3. Frankfurt a.M. 1996.
- Dahmen, N.; Schön, J.; Schmieder, H. (1999): Teilereinigung mit komprimiertem Kohlendioxid – Eine Alternative zu flüssigen Medien? In: *Galvanotechnik*, 90. Jg., 1999, Heft 7, S. 1993-1996.
- Daiber, Th. (1993): Standzeitverlängerung von wäßrigen Reinigungsbädern. In: *JOT Journal für Oberflächentechnik*. 33. Jg. 1993, Heft 5, S.62-65.
- DIN EN 12921-1: Maschinen zur Oberflächenreinigung und –vorbehandlung von industriellen Produkten mittels Flüssigkeiten oder Dampfphasen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen. Berlin 1997.
- DIN EN 12921-2: Maschinen zur Oberflächenreinigung und –vorbehandlung von industriellen Produkten mittels Flüssigkeiten oder Dampfphasen – Teil 2: Anlagen, in denen wäßrige Reinigungsmittel verwendet werden. Berlin 1997.

- DIN EN 12921-3: Maschinen zur Oberflächenreinigung und –vorbehandlung von industriellen Produkten mittels Flüssigkeiten oder Dampfphasen – Teil 3: Sicherheit von Anlagen, in denen brennbare Reinigungsmittel verwendet werden. Berlin 1997.
- DIN EN 12921-4: Maschinen zur Oberflächenreinigung und –vorbehandlung von industriellen Produkten mittels Flüssigkeiten oder Dampfphasen – Teil 4: Sicherheit von Anlagen, in denen halogenierte Lösemittel verwendet werden. Berlin 1997.
- DIN EN ISO 14031: DIN EN ISO 14 031 Enviromental Performance Evaluation. Berlin 1999.
- Dirschka, J. (1995): Anhang 40 und die Folgen. In: mo Metalloberfläche. 49. Jg. 1995, Heft 5 S. 345-350.
- Gerbitz, R. (1999): Teilereinigung in der Automobilindustrie. In: JOT Journal für Oberflächentechnik. 39. Jg. 1999, Heft 9, S.78-84.
- Goldmann, B.; Weber, F. (1995): Betriebliche Umweltkennzahlen. BJU Umweltberater, Deutscher Wirtschaftsdienst. Köln 1995.
- Eckhardt, T. u. A. (2001): Reinigungsverfahren im Vergleich. In: mo Metalloberfläche, 55. Jg., 2001, Heft 6, S.20-24.
- European IPPC Bureau (2000): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry. Sevilla 2000. Online im Internet. <<http://eippcb.jrc.es>>, Stand Oktober 2000, Abfrage 23.05.2001, 15.40 Uhr.
- Feßmann, J. (1999): Angewandte Chemie und Umwelttechnik für Ingenieure. Handbuch für Studium und betriebliche Praxis. Landsberg, Lech 1999.
- Förner, L. (1999): Reinigen mit Kohlenwasserstoffen – Stand der Technik und neue Trends. In: JOT Journal für Oberflächentechnik. 39. Jg. 1999, Heft 7, S.38-41.
- Freeman, R. E. (1984): Strategic Management. A Stakeholder Approach. Boston 1984.
- Frei, K.; Justen, F. (1997): Abwasseraufbereitung in der Oberflächentechnik. In: mo Metalloberfläche. 51. Jg. 1997, Heft 10 S. 754-756.
- Gaida, B. (1989): Galvanotechnik in Frage und Antwort. 5. erweiterte Auflage. Saulgau 1989.
- Glauser, H. (1993): Wäßrige Reinigung: technische und ökologische Patentlösung? In: JOT Journal für Oberflächentechnik. 33. Jg. 1993, Heft 3, S.52-55.
- Göpfert, B. (1997): Biologisches Entfettungsspülbad. In: mo Metalloberfläche. 51. Jg. 1997, Heft 10 S. 762-765.
- Gräf, R. (1998): Taschenbuch der Abwassertechnik: Umwelttechnik in der Oberflächenveredelung. Stand der Technik und praktische Umsetzung. München, Wien 1998.

- Grün, R. (1999): Reinigen und Vorbehandeln – Stand und Perspektiven. In: *Galvanotechnik*, 90. Jg., 1999, Heft 7, S. 1836-1844.
- Grünwald, H.; Stipan, G. (1994): Plasmareinigen und –vorbehandeln: Entwicklungsstand und Trends, Teil 1. In: *mo Metalloberfläche*, 48. Jg., 1994, Heft 9 S. 615-622.
- Günther, E. (1994): *Ökologieorientiertes Controlling Konzeption eines Systems zur ökologieorientierten Steuerung und Validierung*. München 1994.
- Heinrich, J. (1997): Vakuumdestillation – Funktionsweise und Einsatz bei der Aufbereitung wässriger Prozeßlösungen. . In: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (Hrsg.) (1997): Tagungsband zum Korrosionsschutzseminar „Innovative chemische Oberflächenvorbereitung durch Entfetten und Beizen“. Dresden 1997.
- Hartinger, L. (1991): *Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik für die metallverarbeitende Industrie*. 2. Auflage. München, Wien 1991.
- Hater, W. (1993): Substitution halogener Kohlenwasserstoffe in der Metallreinigung – Abschlußbericht Teilvorhaben 4. Förderkennzeichen 01 ZH 89L3. HENKEL KGaA, Düsseldorf 1993.
- Hater, W. (1994): Standzeitverlängerung wäßriger Lösungen durch Badpflege. Möglichkeiten beim Einrichten von Reinigungsmittelkreisläufen. In: *mo Metalloberfläche*, 48. Jg., 1994, Heft 10, S. 712-716.
- Hauser, S; Höhnel; K.; Reich, A. (1996): Stoffkreislaufschließung – Automatischer Betrieb von Regeneratoren und Konzentratoren. In: *mo Metalloberfläche*, 50. Jg., 1996, Heft 10, S. 809-813.
- Heintz, A.; Reinhardt, G. (1991): *Chemie und Umwelt*. 2., durchgesehene Auflage. Braunschweig 1991.
- Hellstern, R. u.a. (1995): Forschungsbericht Minderung organischer Schadstoffemissionen des Verbundes „HKW-Substitution in der Oberflächenreinigung durch Kohlenwasserstoff(-/Wasser)-Systeme und wäßrige Reinigungsanlagen unter Minimierung von Sonderabfall und Waschmitteleinsatz“. Filderstadt 1995.
- Hoffmann, A. (1991): Automatische Dosierung und Kontrolle von Reinigern. In: *JOT Journal für Oberflächentechnik*. 31. Jg. 1991, Heft 11, S.54-62.
- Hoffmann, E. u.a. (1996): Ökobilanz von Reinigungserfahren in der Metalloberflächenbehandlung. In: *mo Metalloberfläche*, 50. Jg., 1996, Heft 2, S. 96-99.
- Hohmann, S. (1995): Neue Normen in der Reinigung. In: *mo Metalloberfläche*, 49. Jg., 1995, Heft 5, S. 318-320.
- Jelinek, T. W. (1999): *Reinigen und Entfetten in der Metallindustrie*. Saulgau 1999.
- Jostan, J. L.; Braun, G. u. Buchmann, S. (1995): FCKW-freie Reinigung von Elektronikbauteilen. In: *Galvanotechnik*, 86. Jg., 1995, Heft 7, S. 2247-2257.

- Kaßner, W. (1997): Praktische Erfahrungen beim Einsatz wässriger Reiniger in galvanotechnischen Prozessen. In: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (Hrsg.) (1997): Tagungsband zum Korrosionsschutzseminar „Innovative chemische Oberflächenvorbereitung durch Entfetten und Beizen“. Dresden 1997.
- Kiechle, A. u.A. (1992): Abschlußbericht zum BMFT-Projekt 01 ZH 8821/5: Emissionsarme Schmierstoffe. Untertürkheim 1992.
- Kiechle, A. (2001): Keimbefall von Neutralreinigern – Problem und Lösung. In: JOT Journal für Oberflächentechnik. 41. Jg. 2001, Heft 3, S.62-65.
- Kovacs, R. (2001): Kühlschmierstoffe mit Plasma entfernen. In: mo Metalloberfläche, 55. Jg., 2001, Heft , S.11-15.
- Kreisel, G. u.a. (1998): Forschungsbericht: Ganzheitliche Bilanzierung/Bewertung von Reinigungs-/Vorbehandlungstechnologien in der Oberflächenbehandlung. Förderkennzeichen des BMBF: 01ZE9508/6, 01ZH941 C und 01ZH9501/6. Jena 1998.
- Kresse, J. (1997): Entwicklungstendenzen bei der Formulierung neuer wässriger und organischer Reiniger in der Metallverarbeitung und Oberflächentechnik. In: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (Hrsg.) (1997): Tagungsband zum Korrosionsschutzseminar „Innovative chemische Oberflächenvorbereitung durch Entfetten und Beizen“. Dresden 1997.
- Landau, U. (2000): Kontinuierliche Reinigung von Metallbändern mit Barrieren-Plasma bei Atmosphärendruck. In: Zielonka, A. (Hrsg.): Jahrbuch Oberflächentechnik. Isernhagen, Giesel 2000, S. 169-183.
- Leichtfuß, F. (1991): Prozeßwärme für die chemische Vorbehandlung. In: mo Metalloberfläche. 45. Jg. 1991, Heft 5 S. 199-201.
- Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1994): Metalloberflächenreinigung mit CKW, KW und wässrigen Reinigern – Stoffstromanalyse und Umweltbelastungsvergleich. Texte des UBA 65/94, Berlin 1994.
- Leisewitz, A.; Schwarz, W. (1995): Metallabtrag durch wässrige Reinigung. In: mo Metalloberfläche. 49. Jg. 1995, Heft 8 S. 564-567.
- Leudolph, J; Sommer, J. (1998): Grundsätzliches zur wässrigen Reinigung. In: JOT Journal für Oberflächentechnik. 38. Jg. 1998, Heft 4, S.80-84.
- Lindner, E. (1989): Chemie für Ingenieure. 9. Auflage, Karlsruhe 1989.
- Luck, S. (2001): Reinigerentwicklung im Hinblick auf die Badpflege mit Membranverfahren. In: Tagungsunterlagen zum Info-Forum Membrantechnik, 05. April 2001, Bielefeld.
- Lutter, E. (1990): Die Entfettung – Grundlagen, Theorie und Praxis. Zweite Auflage, Saulgau 1990.
- Mahrwald, B. (2000): EG-Lösemittelrichtlinie – Umsetzung in Deutschland und weitere Ziele. In: JOT Journal für Oberflächentechnik. 40. Jg., 2000 Heft 3. Online im Internet. <<http://www.jot-oberflaeche.de/jot/archiv/2000/j03-00-19.htm>>, Stand o. A. , Abfrage 21.05.2001, 17.15 Uhr

- Metzner, M. (1999): Recyclingtechnologien für die wäßrige Vorbehandlung. In: *mo Metalloberfläche*. 53. Jg. 1999, Heft 6, S. 14-17.
- Mitterer, C.; Hoch, A.; Waldhauser, W. (2001): Die oberflächentechnologische Industrie Österreichs. Wirtschaftliche Bedeutung, technologischer Hintergrund und zukünftige Entwicklung. In: *Galvanotechnik*, 92. Jg., 2001, Heft 2, S. 363-371.
- Möbius, A. (1995): Entfetten und Spülen mit geringen Chemikalieneinsatz. In: *mo Metalloberfläche*. 49. Jg. 1995, Heft 9, (Nachdruck ohne Seitenangaben.)
- Morlok, F. (1992): Titel unbekannt. In: *Galvanotechnik*, 82. Jg., 1992, Heft 12, S. 4209.
- Muhr, G. (1993): Verschmutzungsparameter. Teil 3/2 In: Gräf, R. u.a. (1993): *Abwassertechnik in der Produktion*. Augsburg, Loseblattsammlung, Stand Nov. 2000.
- Müller, K.-P. (1999): *Praktische Oberflächentechnik. Vorbehandeln, Beschichten und Prüfen. 3., überarbeitete Auflage*, Braunschweig, Wiesbaden 1999.
- Müller-Kirschbaum, Th. u. A. (1993): Offenlegungsschrift des Patent DE 41 36 442 A1: Verfahren zum Entfetten und Reinigen metallischer Oberflächen und Vorrichtung zu dessen Durchführung. Deutsches Patentamt 1993.
- Oehr, Ch.; Vohrer, U. (1995): Plasmafeinreinigen: Perspektiven. In: *mo Metalloberfläche*. 49. Jg., 1995, Heft 1, S.22-26.
- Peters, T. A.; Ricke, U. (1999): Wasser und Wirkstoffrecycling bei der Bauteilentfettung durch Spülwasseraufbereitung mit Umkehrosmose. Teil 5/4.5.1 In: Gräf, R. u.a. (1993): *Abwassertechnik in der Produktion*. Augsburg, Loseblattsammlung, Stand Nov. 2000.
- Rauberger, R.; Wagner, B. (1997): Sachstandsanalyse „Betriebliche Umweltkennzahlen“. Forschungsbericht 101 03 173. Berlin 1997.
- Schmidt, K.-J. (1993): Teilereinigung vor einer Oberflächenbehandlung. In: *Galvanotechnik*, 84. Jg., 1993, Heft 4, S. 1214-1215.
- Schmidt, K.-J. (1994): Reinigen mit wäßrigen Medien: Badstandzeiten verlängern. In: *mo Metalloberfläche*. 48. Jg. 1994, Heft 4, S. 221-226.
- Schmidt, K.-J. (1995): Anforderungen an moderne, umweltentlastende Reinigungsverfahren. In: *Galvanotechnik*, 86. Jg., 1995, Heft 3, S. 724-730.
- Schwarz, W. (1995): Aus für Trichlorethylen? In: *mo Metalloberfläche*. 49. Jg., 1995, Heft 8, S.573-574.
- Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1995): *Chlor macht krank – Die Auswirkungen von Chlorverbindungen auf die menschliche Gesundheit*. 1. Auflage. Hamburg 1995.
- Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1999): Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen. UBA-Forschungsbericht 297 44 906/2. Berlin 1999.

- Schwarz, W.; Leisewitz, A. (2000): Lösemittlemissionen aus Reinigungsanlagen – Stand der Technik und Minderungspotenziale zur Senkung der VOC-Emissionen. In: *mo Metalloberfläche*. 54. Jg., 2000, Heft 6, S.21-24.
- Schwering, H.-U. (2000): Membranverfahren. Teil 5/4. In: Gräf, R. u.a. (1993): *Abwassertechnik in der Produktion*. Augsburg, Loseblattsammlung, Stand Nov. 2000.
- Seibt Verlag GmbH (2001) (Hrsg.): *Oberflächentechnik – Buyer's guide for surface technology*. München 2001.
- Seidel, E.; Clausen, J.; Seifeert, E. K. (1998): *Umweltkennzahlen: Planungs-, Steuerungs-, und Kontrollgrößen für ein umweltorientiertes Management*. München 1998.
- Seidel, R. (1995): Die chemische Oberflächenbehandlung vor dem Beschichten. In: *Galvanotechnik*, 86. Jg., 1995, Heft 7, S. 2092-2102.
- Specht, H.; Eckhardt, T. (1999): Welches Reinigungssystem ist das richtige? In: *JOT Journal für Oberflächentechnik*. 39. Jg., 1999, Heft 3, S.20-24.
- Spei, B.; Luck, S. (1998): Standzeitverlängerung von wäßrigen Reinigungsbädern – Möglichkeiten und Grenzen der Badpflege mit Membranverfahren In: *JOT Journal für Oberflächentechnik*. 38. Jg., 1998, Heft 7, S.52-56.
- Strauss, W. u. A. (2001): Entfernen von Trockenschmierstoff aus Entfettungsbädern mit Ultrafiltration. In: *JOT Journal für Oberflächentechnik*. 41. Jg. 2001, Heft 5, S.62-65.
- Sturm, A. (2000): *Performance Measurement und Enviromental Performance Measurement*. Dresden 2000.
- Unruh, J. (2000): Ökocontolling – eine Übersicht. In: Zielonka, A. (Hrsg.) (2000): *Jahrbuch Oberflächentechnik*. Isernhagen 2000, S. 335-354.
- VDMA (2001) (Hrsg.): *EU-Maschinenbau – Strukturen und Trends*. Online im Internet. <http://www2.vdma.de/vdma_root/upload/downloads/0101Europa.pdf>, Stand Januar 2001, Abfrage 14.07.2001, 19.05 Uhr
- VDMA (2001b): *Presseinformation: VDMA-Branchenfokus – Wasser- und Abwassertechnik*. Online im Internet. <http://www2.vdma.de/vdma_root/upload/downloads/Focus_2.Hj.2000.pdf>, Stand 30.03.2001, Abfrage 14.07.2001, 19.15 Uhr
- Weber; u.a. (2000): Verbundvorhaben fertigungsintegrierte Oberflächenbehandlung (FIO). In: *Galvanotechnik*, 91. Jg., 2000, Heft 11, S. 3071-3086.
- Wiechers, R. (1995): *Maschinen- und Anlagenbau im Zentrum des Fortschritts*. In: *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) (Hrsg.) (1995): Maschinen- und Anlagenbau im Zentrum des Fortschritts*. Frankfurt a. M. 1995, S.7-34.
- Winkel, P. (1992): *Wasser und Abwasser – Behandlung und Kreislaufführung in der Galvanotechnik und Metallindustrie*. 2. Auflage. Saulgau 1992.

- Winkel, P. (1997): Aktuelle Fragestellungen der Abwasserbehandlung beim Entfetten und Beizen. In: Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (Hrsg.) (1997): Tagungsband zum Korrosionsschutzseminar „Innovative chemische Oberflächenvorbereitung durch Entfetten und Beizen“. Dresden 1997.
- Winkel, P. (1998): Kohlenwasserstoffe risikobehaftet? In: Galvanotechnik, 89. Jg., 1998, Heft 6, S. 2017-2018.
- Zimpel, J. (1997): Anhang 40: Metallbearbeitung, Metallverarbeitung. In: Gräf, R. u.a. (1993): Abwassertechnik in der Produktion. Augsburg, Loseblattsammlung, Stand Nov. 2000. Teil 2/4.1.4 .

Gesetzes-/Urteilsverzeichnis

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge In der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S. 880, zuletzt geändert durch G v. 03.05.2000 BGBl. I S. 632).

EG-Lösemittelrichtlinie: Richtlinie 1999/13/EG des Rates über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC), die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen. Vom 21.03.1999, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L85/1 vom 29.03.1999.

IVU-Richtlinie: Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vom 24. September 1996 (IVU-Richtlinie) Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L257/26.

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW- /AbfG): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705, zuletzt geändert durch G v. 03.05.2000, BGBl. I S. 632) BGBl. III/FNA 2129-27-2.

Wasserhaushaltsgesetz (WHG): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996 (BGBl. I S. 1695, zuletzt geändert durch G v. 03.05.2000, BGBl. I S. 623) BGBl. III/FNA 753-1.

Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG): Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 1987 (BGBl. I S.875, zuletzt geändert durch G v. 03.05.2000, BGBl. I S. 632) BGBl. III/FNA 753-8.

Chemikaliengesetz (ChemG): Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juli 1994 (BGBl. I S. 1703, zuletzt geändert durch G v. 20.07.2000, BGBl. I S. 1045) BGBl. III /FNA 8053-6.

HKW-Verordnung: Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenwasserstoffen – 2. BimSchV) vom 10. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2694, zuletzt geändert durch G v. 03.05.2000, BGBl. I S. 632) BGBl. III/FNA 2129-8-2-3.

Lösemittelentsorgungsverordnung: Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenerter Lösemittel (HKWAbfV) Vom 23. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1918) BGBl. III 2129-15-3.

Abwasserverordnung – AbwV: Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. In der Fassung der Bekanntmachung vom 9. Februar 1999. (BGBl. I S.86, geändert durch VO v. 29.5.2000, BGBl. I S. 751) BGBl. III/FNA 753-1-5.

In dieser Reihe sind bisher erschienen:

<i>Nummer</i>	<i>Autoren</i>	<i>Titel</i>
01/1996	Günther, T. / White, M. / Günther E. (Hrsg.) Schill, O.	Ökobilanzen als Controllinginstrument  Download
02/1998	Günther, E. (Hrsg.) Salzmann, O.	Revisionäre Zeit- und Geschwindigkeitsbetrachtungen im Dreieck des Sustainable Development  Download
03/2000	Günther, E. / Schill, O. (Hrsg.) Klauke, I.	Kommunales Umweltmanagement: Theoretische Anforderungen und Einordnung vorhandener Ansätze  Download
04/2000	Günther, E. (Hrsg.) Krebs, M.	Aufgaben- und Organisationsstruktur der Umweltpolitik in der Bundesrepublik Deutschland  Download
05/2000	Günther, E. / Schill, O. (Hrsg.) Sicker, B.	Umweltfreundliche Beschaffung und Abfallmanagement in öffentlichen Einrichtungen - Eine Untersuchung am Landratsamt Bautzen und Klinikum Bautzen-Bischofswerda  Download
	Günther, E. / Thomas, P. (Hrsg.) Wollmann, R.	Integration des Instrumentes Environment-oriented Cost Management in die Controllingprozesse von Unternehmen in Entwicklungsländern Ergebnisse der Zusammenarbeit mit dem Pilotvorhaben zur Unterstützung umweltorientierter Unternehmensführung in Entwicklungsländern (P3U) der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Erschienen in den Dresdner Beiträge zur Betriebswirtschaftslehre Nr. 50/01  Download
06/2001	Günther, E. / Berger, A. (Hrsg.) Kaulich, S.	Ermittlung kritischer Erfolgsfaktoren für die Implementierung der Umweltleistungsmessung in Unternehmen, insbesondere für die Maschinenbaubranche  Download

Fortsetzung:

07/2001	Günther, E. / Berger, A. (Hrsg.) Scheibe, L.	Konzeption eines Umweltkennzahlensystems zur Umweltleistungsmessung für Prozesse unter Beachtung der in Unternehmen vorliegenden Rahmenbedingungen  Download
08/2001	Krebs, P. / Günther, E. / Obenaus, G. (Hrsg.) Bölter, C.	Regenwassernutzung im nicht privaten Bereich Eine technische und wirtschaftliche Analyse dargestellt am Beispiel des Fraunhofer-Institutszentrum Dresden  Download