

## ZERMEG

Zero Emission Retrofitting Method for Existing Galvanizing Plants

Methode zur Optimierung bestehender Galvaniken  
für einen möglichst abwasser- und abfallfreien Betrieb

J. Fresner et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**21/2003**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>  
oder unter:

Projektfabrik Waldhör  
Nedergasse 23, 1190 Wien  
Fax 01 /36 76 151 - 11  
Email: projektfabrik@nextra.at

# ZERMEG

Zero Emission Retrofitting Method for Existing Galvanizing Plants

Methode zur Optimierung bestehender Galvaniken  
für einen möglichst abwasser- und abfallfreien Betrieb

Projektleitung  
Dr. Johannes Fresner  
STENUM GmbH

März 2003

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## **DAS PROJEKTTEAM**

### **Projektleitung:**

**STENUM GmbH,**

Dr. Johannes Fresner

Geidorfgürtel 21, 8010 Graz

[www.stenum.at](http://www.stenum.at)

### **unter Mitarbeit von:**

Dr. Thomas Dielacher

DI Christian Angerbauer

Markus Möller

Dr. Jan Sage

Mag. Petra Wolf

### **Projektpartner:**

**Joanneum Research, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme**

Prof. Dr. Hans Schnitzer

DI Christoph Brunner

### **Institut für Verfahrenstechnik der TU Graz**

Prof. Dr. Hans Schnitzer

DI Gernot Gwehenberger

Mikko Planasch

### **Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH**

Josef Mair

### **Alufinish GmbH & Co KG**

DI Heinz Schneider

### **MINERWA Umwelttechnik GmbH**

Dr. Andreas Lürer

### **Inafin**

Geralt Altgajer



*Man kann ein Problem nicht auf derselben Stufe lösen, auf der es entstand -  
Man muss sich darüber erheben und auf die nächste Stufe steigen.*

Albert Einstein, 1931



## ABSTRACT

The organized approach of ZERMEG (Zero Emission Retrofitting of Galvanizing Industries) creates a step by step approach to systematically optimize existing galvanizing plants within their practical limitations. The approach consists of nine steps:

1. Analysis: Identification of consumption of water and chemicals
2. Analysis: Identification of drag out
3. Analysis: definition of rinsing criterion
4. Reference calculation: calculation of ideal water consumption and interpretation of difference
5. Reference calculation: calculation of ideal consumption of chemicals and interpretation of difference
6. Definition of possible external use of concentrates
7. Definition of possible recycles
8. Evaluation of options
9. Optimization of waste water treatment

The method starts with a stepwise documentation of the plant in a flowsheet. The documentation of water consumption and use of chemicals form the basis of the identification of the relevant input streams.

By comparing the real consumptions to the calculated ideal values potential areas for improvement can be identified. Two programs (QUICK and ZEPRA) were developed for this purpose.

In this report different solutions for the reduction of drag out of process solutions, for improvement of rinsing, for enlargement of the useful time and the recycling of baths are described in details showing their areas of application and cost.

The program was used in three case studies in an anodizing plant (Anodisieranstalt Heuberger), in plating of printing cylinders (Rotoform) and in the pickling line of a hot dip zincing plant (Mosdorfer). In these three cases pronounced improvement potential could be identified.

In the anodizing company, the specific water consumption could be reduced by 95%. The consumption of caustic soda and sulfuric acid could be reduced by half! During the project different unit operations for cleaning process solutions were tested. This included filters for cleaning of the degreasing, membranes and evaporators.

An internet homepage was created to present the results of the project ([www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net)). It includes the following elements:

- Presentation of the method of ZERMEG
- Program, benchmarks and reference data
- Collection of case studies
- Links and literature
- Space for discussion.

## KURZFASSUNG

Mit dem Optimierungsansatz ZERMEG wurde eine Methode geschaffen, mit der sich bestehende galvanische Anlagen systematisch optimieren lassen.

- 1 Ist-Analyse: Messen des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes
- 2 Ist-Analyse: Feststellen der Verschleppung
- 3 Ist-Analyse: Definition des Spülkriteriums
- 4 Vergleichsberechnung: Berechnung des Wasserverbrauches und Interpretation der Abweichung
- 5 Vergleichsberechnung: Berechnung der Chemikalienverbräuche
- 6 Definition möglicher externer Verwertung und Entsorgung und Interpretation der Abweichung
- 7 Definition von möglichen Rückführungen
- 8 Bewertung der Optionen
- 9 Optimierung der Abwasseranlage

Die Methode beginnt mit einer schrittweisen Dokumentation der Anlage in einem Fließbild. Die Erhebung des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes bilden die Grundlage für die Zuordnung der wesentlichen Inputstoffströme zu den Prozessschritten.

Durch den Vergleich der Realverbräuche der einzelnen Projektschritte mit den rechnerisch ermittelten Idealwerten lassen sich Punkte aufzeigen, in denen die Ist- und Sollwerte nicht übereinstimmen. Dazu wurde ein Programmpaket entwickelt.

In dieser Dokumentation werden verschiedene Lösungen zur Reduktion von Ausschleppungen von Prozessbädern, zur Verbesserung der Spültechnik, zur Badpflege, zur Standzeitverlängerung und zur Rückführung von Elektrolyten beschrieben. Die wesentlichsten Ansätze werden im Detail mit ihren Einsatzbereichen und Kosten beschrieben. Im Sinne eines Expertensystems werden Auswahlkriterien für ihren Einsatz angegeben.

Das Programm wurde in drei Fallstudien in einem Eloxalbetrieb (Anodisieranstalt Heuberger), bei der Verkupferung von Druckwalzen (Rotoform) und der Beize einer Feuerverzinkerei (Mosdorfer) angewendet. In allen drei Fällen konnte deutliches Verbesserungspotenzial aufgezeigt werden.

Bei der Anodisieranstalt Heuberger konnte durch die Anwendung der Methode der spezifische Wasserverbrauch um 95 % reduziert werden. Der Verbrauch an Säure und Lauge pro behandelte Oberfläche wurde um 50 % gesenkt!

Während des Projektes wurden im Betrieb verschiedene Grundoperationen zur Badpflege und zur gezielten Gewinnung von marktfähigen Nebenprodukten praktisch getestet. Dies umfasste Filter zur Reinigung der Entfettung, Membranen und Verdampfer.

Zur Verbreitung der Ergebnisse wurde die Internethomepage [www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net) angelegt. Sie bietet folgende Elemente an:

- Einstieg in die Methode von ZERMEG
- Programm, Benchmarks und Referenzdaten zur Anwendung der Methode
- Sammlung von Anwendungsbeispielen
- Verweis auf weiterführende Literatur und Internetseiten
- Austausch und Diskussion

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>AUSGANGSPUNKT UND IDEE</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBERFLÄCHENTECHNIK UND UMWELT</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>DER OPTIMIERUNGSANSATZ ZERMEG</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>ANALYSE DES IST-ZUSTANDES</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>DIE VERGLEICHSRECHNUNG: DAS PROGRAMM ZERMEG</b>	<b>25</b>
5.1	Erfassung und Modellierung von Prozessabwässern	25
5.2	Bedarfsanalyse	25
5.3	Aufgaben	26
5.4	Umsetzung	26
5.4.1	Programm "Quick"	26
5.4.2	Berechnungen Fa. Heuberger	29
5.4.3	ZEPRÄ (Zero Emission Program Analysis)	30
5.5	Ausblick	40
<b>6</b>	<b>ZAHLENMATERIAL ZUR UNTERSTÜTZUNG DER BERECHNUNG UND BENCHMARKS</b>	<b>41</b>
6.1	Gesamteffizienz von galvanischen Prozessen	41
6.2	Ausschleppung	41
6.2.1	Ermittlung der Ausschleppverluste	41
6.2.2	Möglichkeiten zur Verringerung des Austrags von Prozessbadinhaltsstoffen	49
6.3	Spülprozesse	51
6.3.1	Berechnung der Spülprozesse	51
6.3.2	Möglichkeiten zur Reduktion des Frischwasserbedarfs beim Spülen	58
6.4	Badpflegemaßnahmen	59
6.4.1	Berechnung der Badstandzeiten	59
6.4.2	Maßnahmen zur Badpflege	61
6.5	Möglichkeiten zur Rückführung oder Rückgewinnung von Badinhaltsstoffen	66
6.5.1	Berechnung der möglichen Rückführung von Elektrolyten	66
6.5.2	Maßnahmen zur Rückführung oder Rückgewinnung von Prozessbadinhaltsstoffen	67
<b>7</b>	<b>PRAKTISCHE ERMITTLUNG VON ECKDATEN FÜR ZERMEG</b>	<b>94</b>
7.1	Messung der Befettung und Beölung der Oberflächen der angelieferten Teile	94
7.2	Filter zur Standzeitverlängerung der Entfettung	95
7.3	Membranen zur Standzeitverlängerung der Entfettung und zur Abtrennung von unlöslichen Metallsalzen	95
7.4	Retardation	96
7.5	Verdampfung von Konzentraten	97
7.6	Durchmischung der Bäder	98
<b>8</b>	<b>ANSÄTZE ZUR VERWERTUNG</b>	<b>99</b>
8.1	Derzeitige Verwertungsmöglichkeiten für Galvanikschlämme	99
8.2	Pyrometallurgische Verwertung von Galvanikschlämmen	100
8.3	Hydrometallurgische Verwertung von Galvanikschlämmen	101

<b>8.4</b>	<b>Verwertungsmöglichkeiten von Konzentraten</b>	<b>101</b>
<b>9</b>	<b>BEWERTUNG</b>	<b>103</b>
<b>9.1</b>	<b>Finanzielle Bewertung von Prozessänderungen</b>	<b>103</b>
<b>9.2</b>	<b>Bewertung der Nachhaltigkeit</b>	<b>104</b>
9.2.1	Leitprinzipien der Bewertung	104
9.2.2	Ökologische Ziele	105
9.2.3	Wirtschaftliche Ziele	105
9.2.4	Soziale Ziele	106
<b>10</b>	<b>FALLSTUDIEN</b>	<b>111</b>
<b>10.1</b>	<b>Eloxal Heuberger</b>	<b>111</b>
<b>10.2</b>	<b>Rotoform</b>	<b>117</b>
<b>10.3</b>	<b>Verzinkerei Mosdorfer</b>	<b>123</b>
<b>11</b>	<b>KONZEPT DER HOMEPAGE <a href="http://WWW.ZERMEG.NET">WWW.ZERMEG.NET</a></b>	<b>126</b>
<b>12</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>128</b>
<b>13</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>130</b>
<b>13.1</b>	<b>Vertiefung im Rahmen von ZERMEG II</b>	<b>130</b>
<b>13.2</b>	<b>Verbreitung im Rahmen von ZERMEG II</b>	<b>132</b>
<b>14</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>134</b>
<b>15</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>135</b>
<b>16</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>137</b>

## 1 AUSGANGSPUNKT UND IDEE

Die galvanische Beschichtung von Metalloberflächen ist aus der modernen Technik nicht mehr wegzudenken. Durch galvanische Verfahren können kostengünstig langlebige Oberflächen hergestellt werden, die die Lebensdauer von Bauteilen durch Korrosionsschutz und Verminderung von Verschleißverlängern und dadurch Ressourcen schonen und die Umwelt entlasten.

Das European Committee for Surface Treatment hat im jüngsten Entwurf der Zusammenstellung des Standes der Technik für die Galvanikbranche in Europa einige Beispiele gesammelt, welche ökonomischen und ökologischen Auswirkungen Oberflächenbehandlung auf die europäische Wirtschaft hat:

1 kg Zink schützt eine Tonne Schrauben effektiv gegen Korrosion. In einem modernen Auto befinden sich etwa 2.000 bis 3.000 galvanisierte Teile, in einem Airbus bis zu 2 Millionen! Ohne galvanisch hergestellte Leiterplatten gäbe es keine moderne Elektronik. Der monetäre Wert des Verlustes an Stahlteilen durch Korrosion wird mit 200 Millionen Euro täglich angegeben. Das entspricht etwa einem Euro pro Bürger der Europäischen Gemeinschaft täglich!

Über 10.000 Galvanikbetriebe und 8.300 sogenannte In-House-Galvaniken beschäftigen europaweit 440.000 Mitarbeiter. Diese Zahlen beinhalten die Leiterplattenherstellung.

Durch galvanische Verfahren entstehen in den Betrieben Belastungen für die Umwelt. Galvanikbetriebe sind große Wasserverbraucher. Die eingesetzten Metallsalze, Säuren und Laugen gelangen teilweise ins Abwasser und müssen daraus oft aufwändig entfernt werden, um die Beeinträchtigung von Vorflutern zu vermeiden.

Europaweit entsteht ca. 1 % des gesamten gefährlichen Abfalls aus Galvanikbetrieben. Der Anfall von Schlämmen aus Galvanikbetrieben in Deutschland wurde 2002 auf ca. 80.000 t jährlich geschätzt<sup>1</sup>. Ältere Schätzungen sprechen noch von über 250.000 t (1997) Schlamm ohne Berücksichtigung von Eloxalbetrieben und Beizereien. Etwa 30 % des anfallenden Schlammes werden als Sekundärrohstoff genutzt. Der Rest wird deponiert. Entsprechende Zahlen des Umweltbundesamtes aus Österreich weisen ca. 14.000 t jährlich gefährlichen und nicht gefährlichen Abfall aus der Galvanikindustrie aus.<sup>2</sup> In einer Aussendung der Wirtschaftskammer Steiermark wird der Anfall von Galvanik- und Hydroxidschlämmen in Österreich mit ca. 50.000 t jährlich angegeben.<sup>3</sup>

Die Analysen von Betrieben mit ähnlichen Produkten haben gezeigt, dass ähnliche Betriebe teilweise sehr unterschiedliche Wasser- und Chemikalienverbräuche aufweisen.

---

<sup>1</sup> Entwurf des deutschen Beitrags zu den besten verfügbaren Techniken bei der "Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren", AG BREF Oberflächentechnik, Berlin, 2002

<sup>2</sup> Persönliche Mitteilung, Umweltbundesamt, Daten aus dem Abfalldatenverbund für das Jahr 2000

<sup>3</sup> MUT Folge 23, 23. Juli 2001

**Tabelle 1: Spezifische Verbräuche von Entfettungsmitteln**

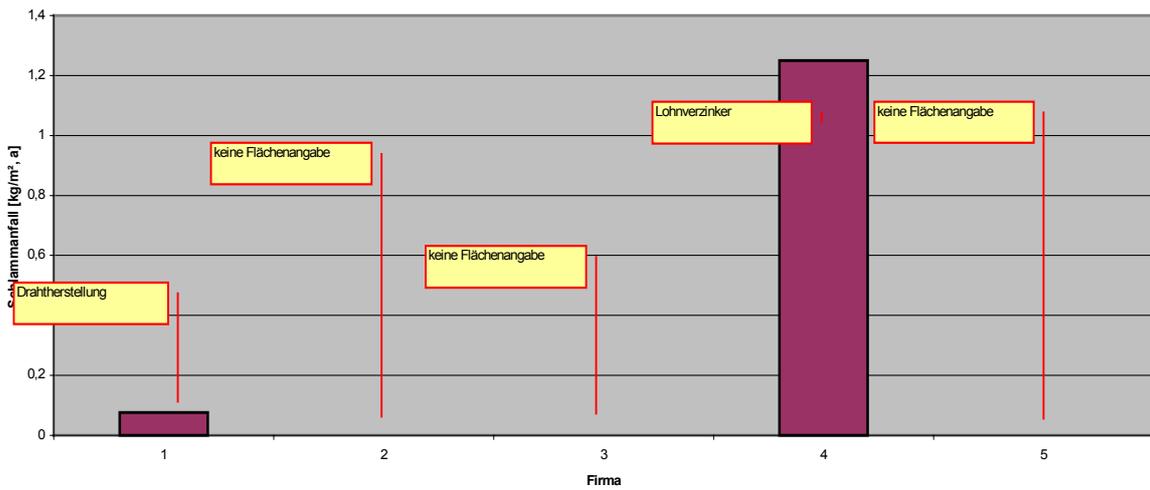
Betrieb	Durchsatz – Beschichtete Fläche (m <sup>2</sup> /a)	Verbrauch Reinigungsmittel (t/a)	Spezifischer Verbrauch (t/100.000 m <sup>2</sup> )
1	158.000	1.24	0.78
2	200.000	12.8	6.4
3	63.000	0.13	0.2
4	468.000	12.4	2.6
5	66.000	7	9.0

**Tabelle 2: spezifische Verbräuche von Beizmitteln**

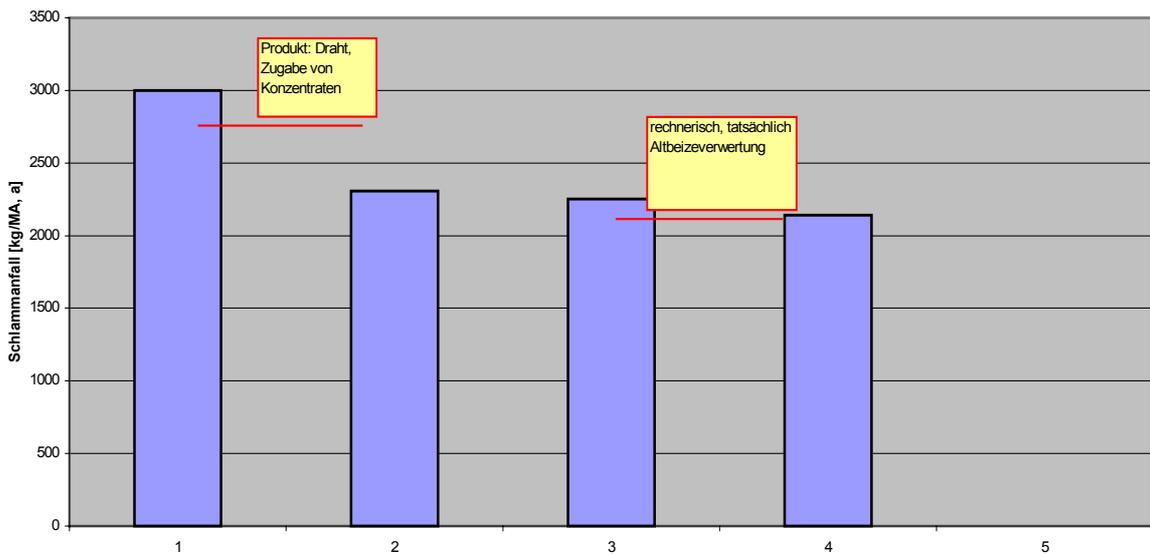
Betrieb	Durchsatz – Beschichtete Fläche (m <sup>2</sup> /a)	Verbrauch Beizmittel (t/a)	Spezifischer Verbrauch (t/100.000 m <sup>2</sup> )
1	158.000	24	15
2	200.000	202	101
3	63.000	21	33
4	468.000	150	32
5	66.000	1.3	2

**Tabelle 3: spezifische Verbräuche an Elektrolyt beim elektrochemischen Verzinken in fünf deutschen Betrieben**

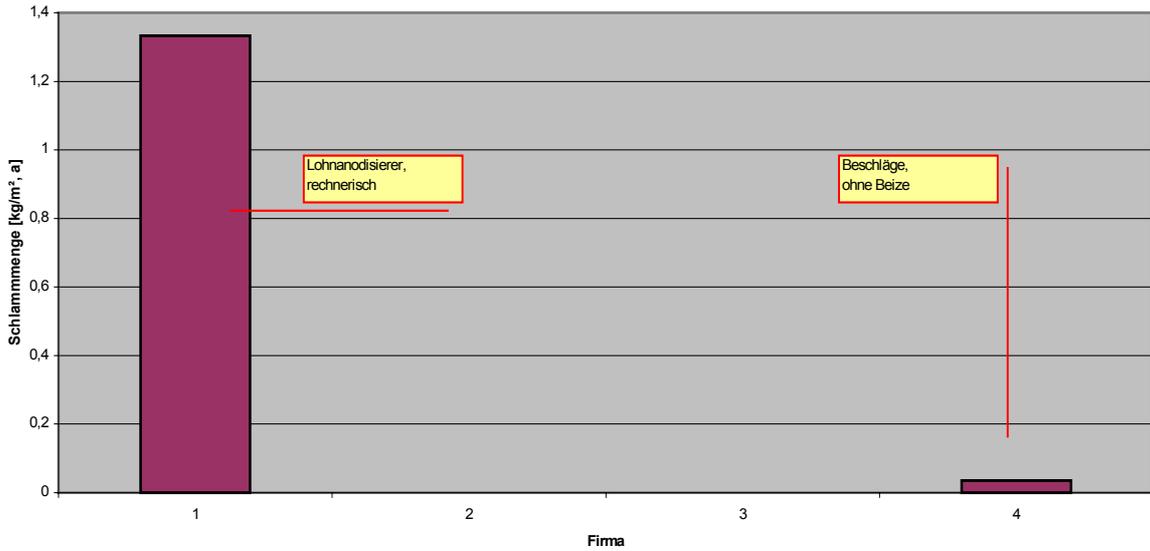
Betrieb	Durchsatz – Beschichtete Fläche (m <sup>2</sup> /a)	Verbrauch Elektrolyt (t/a)	Spezifischer Verbrauch (t/100.000 m <sup>2</sup> )
1	158.000	38	24
2	200.000	160	80
3	63.000	6	9,5
4	468.000	90	19,2
5	66.000	15,3	23



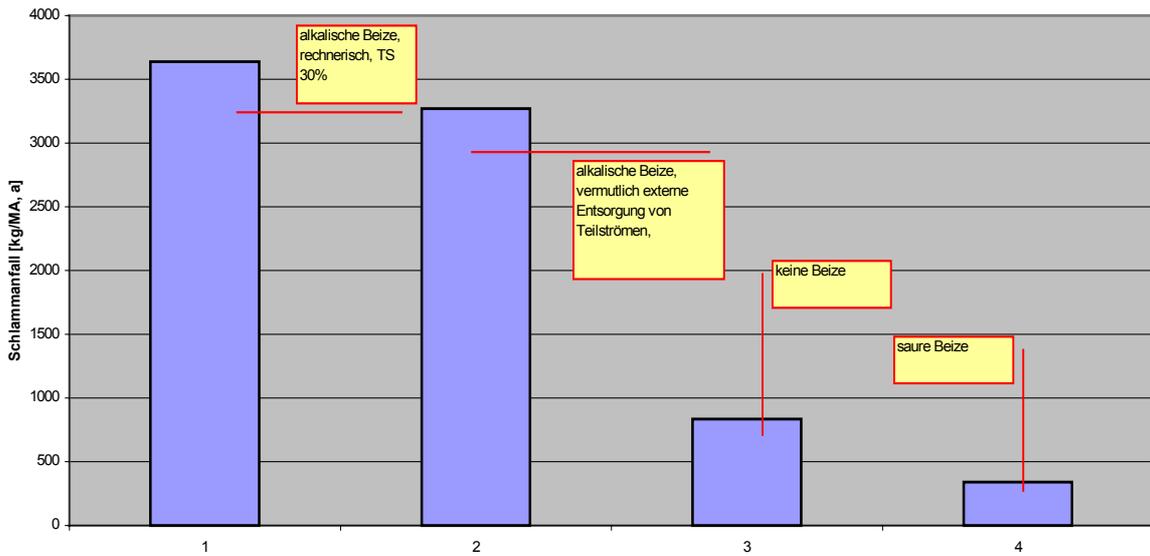
**Abbildung 1: Benchmarking von österreichischen Verzinkern – jährlicher spezifischer Schlammfall**



**Abbildung 2: Benchmarking von österreichischen Verzinkern – jährlicher Schlammfall bezogen auf die Mitarbeiterzahl**



**Abbildung 3: Benchmarking von österreichischen Anodisierbetrieben – jährlicher spezifischer Schlammfall**



**Abbildung 4: Benchmarking von österreichischen Anodisierbetrieben – jährlicher Schlammfall bezogen auf die Mitarbeiterzahl**

Eine österreichische Studie gelangte 2001 zu ähnlichen Ergebnissen.<sup>4</sup> Als wesentliche Einflüsse auf den Abfallanfall aus oberflächentechnischen Betrieben konnte dort gezeigt werden, dass neben den eingesetzten Technologien auch organisatorische Faktoren (Abtropfzeiten, Ausbildung, Controlling) den Abfallanfall stark beeinflussen.

<sup>4</sup> Umsetzungsinitiative Oberflächentechnik, STENUM im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, 2001

Aus diesen oberflächlichen Vergleichen von ähnlichen Betrieben untereinander folgt doch deutlich, dass in vielen Betrieben noch ein großes Potenzial bestehen muss, durch die Anwendung von organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Abfallvermeidung Chemikalienverbräuche und Schlammanfall zu reduzieren.

## 2 OBERFLÄCHENTECHNIK UND UMWELT

Galvanische Betriebe umfassen ein breites Spektrum an eingesetzten Verfahren:

- Entfetten
- Beizen
- Herstellung von Leiterplatten
- Passivieren
- Phosphatieren
- Anodisieren
- Brünnieren
- Elektrophoreselackierung
- Verchromen
- Vergolden
- Verkupfern
- Vernickeln
- Versilbern
- Verzinnen
- Verzinken
- etc.

Sinn dieser Verfahren ist es, auf metallischen Grundkörpern oder auch auf Kunststoffen durch chemische oder elektrochemische Behandlung eine bestimmte Oberfläche aus dem Grundmetall oder einem anderen, korrosionsbeständigen Metall zu erzeugen.

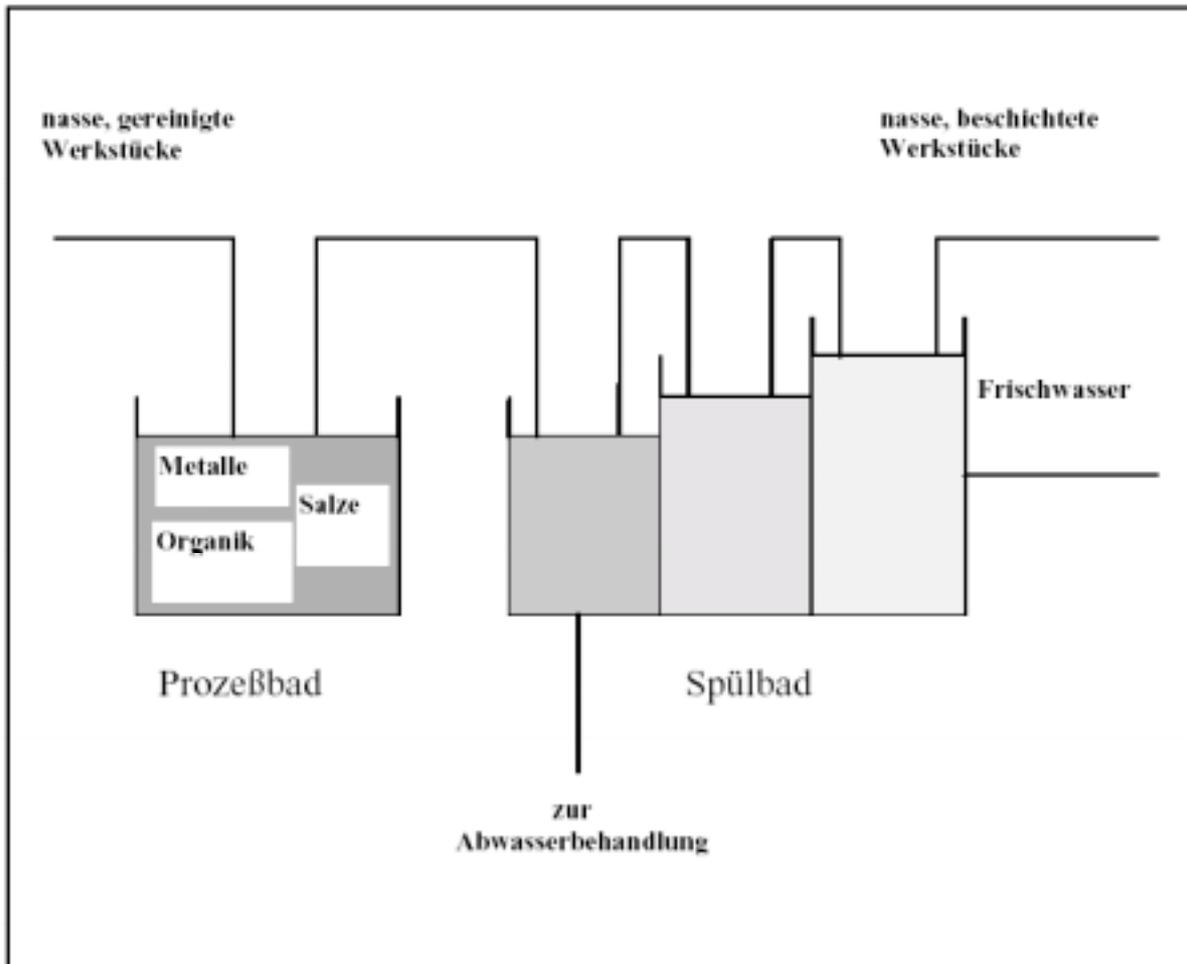
Dabei wird das Werkstück zunächst durch Tauchen in saure oder alkalische Bäder von anhaftenden Verunreinigungen befreit. Anschließend erfolgt die elektrolytische oder stromlose Aufbringung des gewünschten metallischen Überzugs. Nach jedem Prozessbad wird das Werkstück mittels unterschiedlicher Spültechniken mit mehr oder weniger großen Wassermengen von anhaftender Prozessbadlösung befreit, um eine Verschleppung in das darauffolgende Bad zu minimieren.

Die Abbildung zeigt schematisch einen galvanischen Prozess<sup>5</sup>. Die verschiedenen Verfahren unterscheiden sich in ihren Prozessbädern in erster Linie durch die verschiedenen eingesetzten Prozessbäder (Entfettung, Natronlauge als Beize, Salzsäure oder Schwefelsäure als Beize, Lösungen verschiedener Metallsalze), in ihrer Temperatur und je nachdem, ob elektrischer Strom angelegt wird oder nicht.

Das dabei anfallende Prozesswasser ist daher in verdünnter Konzentration mit allen Prozesschemikalien (Entfettungsmitteln, Säuren, Laugen, Additiven, Metallionen) belastet und muss vor der Einleitung ins Abwassersystem oder in ein Gewässer behandelt werden. Typische Abwasserbehandlungsverfahren umfassen die Neutralisation und die Fällung. Dadurch entstehen in der Regel feuchte Schlämme, die in den meisten Fällen anschließend deponiert werden.

---

<sup>5</sup> Galvanik in Rheinland-Pfalz, Informationen für den Galvanikbetrieb zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen und Abfällen, Mainz 1996



**Abbildung 5: Allgemeine Darstellung eines galvanischen Prozesses**

Den rechtlichen und wirtschaftlichen Anforderungen in ihrer Gesamtheit werden nur integrierte, weitgehend geschlossene Produktionsverfahren gerecht. Der Galvanikbetrieb der Zukunft arbeitet abwasserarm und mit hoher Ausnutzung der eingesetzten Metalle. Die Autoren des rheinland-pfälzischen Branchenkonzeptes präzisierten bereits 1996 ihre Vision von „abwasserarmen Galvanikbetrieben“:

„Verschleppte Prozessbadinhaltsstoffe werden durch entsprechende Verfahren zurückgewonnen und in die jeweiligen Prozessbäder zurückgeführt. In der BRD bestehen bereits Galvaniken, die diese Zielvorstellungen annähernd erreichen. Allerdings muss hierbei kritisch betrachtet werden, dass es sich bei diesen um Betriebe handelt, die zum einen von Grund auf neu gebaut und zum anderen mit finanzieller Unterstützung durch die öffentliche Hand gefördert wurden. Es handelt sich somit um „maßgeschneiderte“ Anlagen, bei denen schon in der Planungsphase die Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes und des Abfallgesetzes berücksichtigt wurden“.

Für eine bereits bestehende Galvanik, und die meisten den Autoren bekannten Anlagen oberflächentechnischer Betriebe in Österreich sind im Schnitt mindestens 10 bis 15 Jahre alt, stellt sich das Problem, dass der Produktionsablauf im Regelfall nicht auf die Zielsetzungen eines abwasserarmen und abfallfreien Betriebes zugeschnitten ist.

Hindernisse bei der Umrüstung bestehender Anlagen stellen oft Platzprobleme dar und die Unsicherheit darüber, ob die Produktion nach der Umrüstung reibungslos und vor allem ohne

Qualitätseinbußen weiterläuft. Jede Umrüstung bewirkt zudem eine meist nicht geringe finanzielle Belastung für den Betrieb, da zum einen die Investitionskosten hoch sind und zum anderen Produktionsstillstände während der Umrüstungsphase zu einer weiteren Belastung führen.

Besonders bei Betriebsgalvaniken (sogenannten „In-House“-Galvaniken) wirken sich Produktionsstillstände sehr negativ aus, da von einer reibungslos funktionierenden Galvanik als „Engpass“ alle anderen Betriebsteile abhängen. Die Vielzahl der auf dem Markt angebotenen Techniken zur Verringerung der Abwassermenge und zur Rückgewinnung von Badinhaltsstoffen und zur Badpflege, deren unterschiedliche technische Ausführung, Investitions- und Betriebskosten und deren Zuverlässigkeit im Betrieb stellen die Betreiber von Galvanikanlagen oftmals vor das Problem, eine für den eigenen Betrieb angepasste Verfahrensauswahl vorzunehmen.

Dabei sieht der Gesetzgeber sowohl in Deutschland als auch in Österreich vor, dass in Galvanikbetrieben weitgehend Vermeidungsmaßnahmen umgesetzt werden. Dies betrifft folgende Punkte:

- Behandlung von Prozessbädern mittels geeigneter Verfahren wie Membranfiltration, Ionenaustauscher, Elektrolyse, thermische Verfahren, um eine möglichst lange Standzeit der Prozessbäder zu erreichen
- Zurückhalten von Badinhaltsstoffen mittels geeigneter Verfahren wie verschleppungsarmer Warentransport, Spritzschutz, optimierte Badzusammensetzung
- Mehrfachnutzung von Spülwasser mittels geeigneter Verfahren wie Kaskadenspülung, Kreislaufspültechnik mittels Ionenaustauscher
- Zurückführung dafür geeigneter Badinhaltsstoffe aus Spülbädern in die Prozessbäder
- Einsatz von Verfahren zur sortenreinen Rückgewinnung von Roh-, Arbeits- oder Hilfsstoffen aus Prozessbädern oder Spülwässern (Dialyse für Nickel, Eindampfung oder Verdunstung für Glanz- oder Hartchrom, Fällung für Zink)
- Weitgehender Verzicht auf Roh-, Arbeits- und Hilfsstoffe mit wassergefährdenden Eigenschaften
- Gesonderte Erfassung und Behandlung von Prozessabwässern, besonders von sauren, basischen, chromat-, cyanid-, nitrit-, komplexbildner- und sulfathaltigen Abwasserteilströmen

Dabei hat sich gezeigt, dass Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Situation eines Betriebes nicht zwangsläufig zu einer wirtschaftlichen Mehrbelastung des Betriebes führen. Vielmehr stellt sich unter Berücksichtigung aller Vorteile und Einsparungen häufig heraus, dass der ökologische Nutzen einer Maßnahme begleitet wird von einem ökonomischen Gewinn.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Problematik wurde der Ansatz von ZERMEG entwickelt. ZERMEG steht für „Zero Emission Retrofitting Method for Existing Galvanizing Plants“. ZERMEG will also eine Methode definieren, mit der eine betriebsinterne Analyse des eigenen oberflächentechnischen Betriebes durchgeführt werden kann. Sie will einen Leitfaden bieten, Daten zu erheben, zu interpretieren, Anregungen zu vermitteln, Auswahlkriterien anzubieten und die Umsetzung konkreter Maßnahmen einzuleiten, um bestehende Galvanikanlagen so zu modernisieren, dass

- möglichst wenig Abwasser mit möglichst geringer Schadstofffracht anfällt
- möglichst viele Badinhaltsstoffe im Betrieb zurückgewonnen werden
- innerbetrieblich nicht wirtschaftlich vermeidbare Abfälle als Nebenprodukte in anderen Branchen verwertet werden.

### 3 DER OPTIMIERUNGSANSATZ ZERMEG

ZERMEG will die Aufgabenstellung durch folgende Elemente erfüllen:

- methodisches Vorgehen
- Unterstützung durch Rechenprogramme
- Unterstützung durch Referenzdaten und vergleichbare Technologiebeschreibungen
- Anbieten einer Diskussionsplattform zum themenspezifischen Erfahrungsaustausch und zur Weiterentwicklung des Vorgehensmodells und zur Verbreiterung der Datenbanken

Der methodische Ansatz zerlegt die betriebsinterne Analyse in neun Schritte. Der Grundablauf besteht aus einer Beschreibung des eigenen Betriebes in Form von Stoff- und Energiebilanzen, der Bildung von wesentlichen Kennzahlen, dem Vergleich dieser Kennzahlen mit einer idealen Berechnung wesentlicher Prozessparameter, der Analyse beobachtbarer Differenzen, der Zuordnung von Differenzen zu Ursachen und der Ableitung organisatorischer oder technischer Maßnahmen zur Annäherung an das Ideal.

**Tabelle 4: Die ZERMEG-Methode**

Schritt Nummer	Bezeichnung	Tätigkeiten	Zeigt folgende Optimierungspotenziale:
1	Ist-Analyse: Messen des Wasserverbrauches und des Chemikalien-einsatzes	Erstellung eines Prozessfließbildes, Dokumentation des Wasserverbrauches anhand des Wasserzählers, ev. Einbau von Zählern, Dokumentation der Chemikalienverbräuche mit Daten des Einkaufs und Messung der nachgeschärften Mengen, Beginn der Dokumentation des Chemikalieneinsatzes badspezifisch	Fehlende Daten, Einführung von Kennzahlen, tägliches Messen der Konzentrationen, tägliches Nachschärfen auch zur Qualitätsverbesserung, ev. Weglassen einzelner Chemikalien, statistische Qualitätskontrolle zur Reduktion von Nacharbeit
2	Ist-Analyse: Feststellen der Verschleppung	Empirisch durch Messen, zum Vergleich durch Berechnung (Abschätzung)	Zu kurze Abtropfzeiten, Austauschzeiten, breites Teilespektrum, Verbesserung der Montage der Teile, Gestellgeometrie
3	Ist-Analyse: Definition des Spülkriteriums	Richtwerte aus der Literatur für Spülkriterium und/oder Leitfähigkeit des letzten Spülwassers, Rückrechnung des verwendeten Spülkriteriums	Qualitätskontrolle, Definition des Spülkriteriums, Reduktion der Wassermenge, Leitfähigkeitsmessung zur Regelung der Spülwassermenge, manuelle Regelung der Spülwassermenge, verbesserte Durchmischung
4	Vergleichsberechnung: Berechnung des	Mit dem Programm ZERMEG	Vergleich mit dem tatsächlichen Wasserverbrauch, Anzahl der

Schritt Nummer	Bezeichnung	Tätigkeiten	Zeigt folgende Optimierungspotenziale:
	Wasserverbrauches		Spülen (ideal Standspüle zur Chemikalienrückgewinnung und ca. 3-stufige Kaskade), Spültechnik
5	Vergleichsberechnung: Berechnung der Chemikalienverbräuche	Mit dem Programm	Vergleich mit dem tatsächlichen Verbrauch, bei positiver Abweichung: Identifikation von Verlustströmen (Ablassen, Badverwurf, Nebenprodukte der Badpflege), Durchmischung, technische Maßnahmen zur Standzeitverlängerung
6	Definition möglicher externer Verwertung und Entsorgung	Kontakte mit potentiellen Abnehmern, Chemikalienlieferanten	Gewinnung von Nebenprodukten
7	Definition von möglichen Rückführungen	Anwendung des Registers von Technologien zur Kreislaufschließung	Rückführung von Badinhaltsstoffen oder gereinigten Bädern
8	Bewertung der Optionen	Bewertung nach finanziellen und nachhaltigen Kriterien	Amortisationsrechnung, Nachhaltigkeitsbewertung der Alternativen
9	Optimierung der Abwasseranlage		

Im folgenden werden die acht Optimierungsschritte zur Minimierung von Wasser- und Chemikalienverbrauch von Galvaniken im Detail beschrieben. Die Optimierung der Abwasseranlage ist nicht mehr Thema dieser Arbeit.

## 4 ANALYSE DES IST-ZUSTANDES

Jeder Galvanikbetrieb kann wesentliche Vorarbeiten zur Auswahl von geeigneten Maßnahmen zur Minimierung des Wasser- und Chemikalienverbrauchs mit zum Teil sehr geringem Aufwand schon selbst oder durch Beauftragung eines externen Beraters erledigen.

Diese Vorarbeiten beinhalten eine detaillierte Erfassung des Ist-Zustandes des jeweiligen Betriebes. Schwerpunkt dieser Erfassung ist die Analyse der einzelnen Stoffströme in Bezug auf Menge und Zusammensetzung. Sie bildet die Voraussetzung für jede weitere Entscheidung über die Einsatzfähigkeit und Wirtschaftlichkeit eines potenziellen Verfahrens.

Wie die Betriebsuntersuchungen im Rahmen von Cleaner Production Projekten wie PREPARE<sup>6</sup> oder ÖKOPROFIT<sup>7</sup> gezeigt haben, ergeben sich allein aufgrund dieser Analyse oftmals schon Maßnahmen, die mit geringem Investitionsaufwand umgesetzt werden können, aber effektiv zur Verringerung und Vermeidung von Abwasser und Abfall beitragen. So haben die Untersuchungen gezeigt, dass in den wenigen Betrieben, bei denen der Ist-Zustand des eigenen Galvanikbereichs im Detail bezüglich Wassereinsatz, Chemikalieneinsatz und Energieeinsatz bekannt ist, der integrierte Umweltschutz deutlich fortgeschrittener ist, als in den übrigen Betrieben.

Die betriebsinterne Analyse des eigenen Galvanisierverfahrens schult das Problembewusstsein und führt dazu, dass der Galvaniseur sein Verfahren kritisch betrachtet und hinterfragt. Die beiden wichtigsten Fragen, die sich jeder Galvaniseur in diesem Zusammenhang stellen muss und die nur auf Grundlage der Erfassung des Ist-Zustandes sowie ggf. in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Badzusätze beantwortet werden können, sind

- Sind eigentlich alle Zusatzstoffe zu den Bädern notwendig?  
Welchen Zweck erfüllen sie?
- Arbeiten alle Bäder kontinuierlich im optimalen Konzentrations- und Temperaturbereich?
- Sind die eingesetzten Spülwassermengen wirklich notwendig?

Die Beantwortung dieser Fragen führt häufig zu erstaunlichen Resultaten. Als Beispiel sei an dieser Stelle nur der Verzicht auf einige organische Badzusätze genannt, was sich positiv auf die Organikfracht des Abwassers sowie des Galvanikschlammes auswirkt.

Oft sind den Optimierungsbemühungen jedoch dadurch Grenzen gesetzt, dass die komplexen Vorgänge, die letztlich zur Entstehung der Abfälle führen, nicht alle im einzelnen beherrscht werden können

Die Erfassung des Ist-Zustandes beginnt mit der Erstellung eines Fließbildes<sup>8</sup> (Abbildung 6). Dieses Bild zeigt die einzelnen Bäder der Linie längs des Produktionsflusses gemeinsam mit den eingesetzten Chemikalien und den Wasserströmen.

Zur Vorbereitung der Ist-Analyse gehört zunächst einmal, die Voraussetzungen für die Erfassung von Daten zu schaffen. Da ein wesentlicher Bestandteil dieser Erfassung die

---

<sup>6</sup> [www.prepare.at](http://www.prepare.at)

<sup>7</sup> [www.oekoprofit-graz.at](http://www.oekoprofit-graz.at)

<sup>8</sup> Stoffflussanalyse, Johannes Fresner, Heft 4 der ÖKOPROFIT-Schriftenreihe, Umweltamt der Stadt Graz, 1998

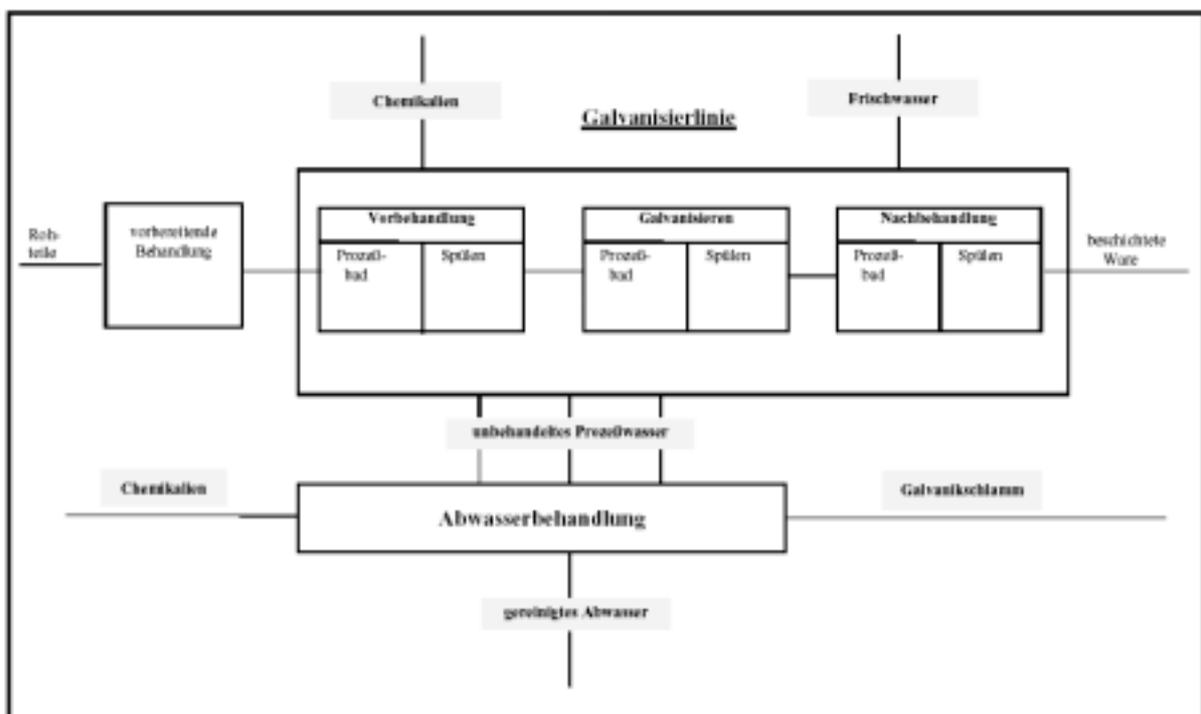
Bilanzierung von Stoffströmen ist, ist hier an erster Stelle der Einbau von Durchflussmessern zur Dokumentation der Wasserverbräuche und die Dokumentation der eingesetzten Chemikalien zu nennen.

Weiterhin gehört zu den vorbereitenden Maßnahmen das Erstellen geeigneter Datenaufnahmeblätter, mit denen die benötigten Daten übersichtlich erfasst werden können.

Die Erfassung des Ist-Zustandes beinhaltet

- eine Mengenzbilanzierung im Betrieb auftretender und
- eine Untersuchung der Zusammensetzung dieser Stoffströme.

Die wichtigsten hierbei zu betrachtenden Stoffströme sind schematisch in Abbildung 6 dargestellt. Der Strom „Chemikalien“ ist pauschal dargestellt.



**Abbildung 6: Stoffstromdarstellung einer typischen Galvanik**

Zur Mengenzbilanzierung wird der Galvanikbetrieb in die 2 Bilanzierungsräume Galvanisierlinie und Abwasserbehandlung unterteilt. Alle ein- und ausgehenden Stoffströme sollen so detailliert wie möglich erfasst werden.

Hierzu zählen in der Galvaniklinie:

- eingesetzte Chemikalien
- Input (Menge) Frischwasser
- Output (Menge) Prozesswasser
- Menge verworfener Prozessbadlösungen

in der Abwasserbehandlung:

- eingesetzte Chemikalien
- Input unbehandeltes Prozesswasser
- Output gereinigtes Abwasser
- Output Galvanikschlamm

Ergänzend zu dieser Bilanzierung der beiden großen Bilanzräume sollen auch die einzelnen Prozesse (zB Metallbad, Spülen) in der Galvanisierlinie betrachtet werden. Um die Effektivität der Nutzung der eingesetzten Prozesschemikalien beurteilen zu können, sollten die eingesetzten Chemikalien auch den Bädern, in denen sie eingesetzt werden, mengenmäßig zugeordnet werden. Folgende Fragestellungen sollen hierdurch beantwortet werden können:

- Wo werden große Mengen von Chemikalien in den Prozess eingebracht?
- Wo wird mit wie viel Spülwasser gespült?
- Wann und warum werden Konzentrate/Halbkonzentrate verworfen?
- Wie ist der Zusammenhang zwischen Durchsatz an Ware und Verschleppung von Prozessbadinhaltsstoffen?

Die aufgenommenen Mengenströme werden über einen repräsentativen Zeitraum in die Datenblätter eingetragen.

Folgende Datenquellen sind in der Praxis relevant:

**Tabelle 5: Datenquellen für die Optimierung**

	Datenquellen
Wasser	Wasserrechnung aus der Buchhaltung, Wasserzähler, Aufzeichnungen
Chemikalien	Buchhaltung, Aufzeichnungen

Wichtig ist ferner die Zuordnung der Mengenströme zu produzierten Mengen. Daher ist der Teiledurchsatz zu erfassen. Um spezifische Kennzahlen berechnen zu können, ist es dabei notwendig, die durchgesetzten Flächen zu erfassen. Die flächenbezogenen Wasser- und Chemikalienverbräuche sind wesentliche Instrumente zur Lokalisierung von Maßnahmen zur Reduktion der Verbräuche.

Die durchgesetzten Flächen werden oft zum Zwecke der Abrechnung mit den Kunden aufgezeichnet. Die Flächen können auch aus dem Stromfluss in Bädern berechnet werden. Sollten die behandelten Teile nach Gewicht abgerechnet werden, kann man folgende Zusammenhänge zur Umrechnung benutzen:<sup>9</sup>

**Tabelle 6: Spezifische Oberfläche von Teilen**

Teile	Oberfläche [m <sup>2</sup> /t]
Schwerer Stahlbau	20 bis 30
Schmiedestücke	80 bis 90
Gitterroste, leichter Stahlbau	90
Wärmeüberträger	150

<sup>9</sup> Handbuch Feuerverzinken, Peter Maaß und Peter Peißker, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig – Stuttgart, 1993

Zusätzlich werden noch Informationen über vorhandene Teilstromführungen von Prozesswasser zwischen Galvanisierlinie und Abwasserbehandlung ein. Dies umfasst neben den Spülwässern auch eventuell eingeleitete Konzentrate aus dem Verwurf von Prozessbädern sowie die Nebenprodukte aus Anlagen zur Badpflege, wenn diese in die Abwasseranlage eingeleitet werden. Die erfassten Daten sind Grundlage für die weitere Vorgehensweise und Referenz für spätere Vergleiche.

Um Aussagen hinsichtlich des Einsatzes prozessintegrierter Umweltschutztechniken treffen zu können, müssen nicht nur die Mengen, sondern auch die Zusammensetzung der einzelnen Stoffströme bekannt sein. Folgende Fragestellungen sollten hier beantwortet werden:

- Welche Arten an Prozesswässern treten in welcher Zusammensetzung wo im Betrieb auf (Prioritätenfindung der Abwasserminimierung)?
- Wie ist die jeweilige Abfallrelevanz einzuordnen (gefährliche Stoffe, aufwändige Abwasserbehandlung nötig ja/nein)?

Die Auswertung der Ist-Analyse sollte schließlich zu folgenden Ergebnissen führen:

- Transparenz des gesamten Galvanikprozesses inklusive Abwasserbehandlung bezüglich der vorhandenen Stoffströme und deren Abfallrelevanz
- Lokalisierung von Haupteintragsquellen abfallrelevanter Stoffe
- Lokalisierung von Prozessen mit hohem Spülwasserbedarf
- Lokalisierung von Prozessbädern mit hoher Verwurfshäufigkeit

Flächenbezogene Daten über Verbräuche und die Konzentrationen der wesentlichen Badparameter stellen wertvolle Kennzahlen für die Optimierung des Betriebes dar. Sie sind einerseits die Basis für ein tägliches Controlling und andererseits die Grundlage für eine statistische Analyse von Fehlern und Abweichungen.<sup>10</sup> Die untenstehenden Abbildungen zeigen ein Beispiel für einen Datenerfassungsbogen unter Verwendung von MS Excel (Abbildung 7) und ein Beispiel für die Auswertung von Badanalysedaten zum täglichen Controlling und zur Ableitung von Korrekturmaßnahmen (Abbildung 5).

---

<sup>10</sup> Umweltcontrolling, Johannes Fresner, Heft 9 der ÖKOPROFIT-Schriftenreihe, Umweltamt der Stadt Graz, 1998



Ein wesentliches Element zur Beurteilung von galvanischen Prozessen ist die Feststellung der Ausschleppung von Badflüssigkeiten. Die Berechnung der Ausschleppung wird im Kapitel 6.3.1 beschrieben.

Die tatsächlichen Ausschleppverluste sollten durch Versuche im praktischen Betrieb ermittelt werden. Dazu wird eine bestimmte Anzahl von Werkstücken, bzw. Galvanisiergestellen unter Beibehaltung der sonst üblichen für den Betrieb charakteristischen Austauschgeschwindigkeiten und Abtropfzeiten durch einen Standspülbehälter gefahren und danach das Spülwasser analysiert.

## 5 DIE VERGLEICHSCHEUNUNG: DAS PROGRAMM ZERMEG

### 5.1 ERFASSUNG UND MODELLIERUNG VON PROZESSABWÄSSERN

Der erste Schritt für eine verfahrenstechnische Betriebsanalyse in Hinblick auf eine erhöhte Wassereffizienz ist die einfache und schnelle Erfassung von Material- und Energieströmen auf Basis eines EDV-gestützten Erhebungsschemas. Die daraus erstellten Bilanzen um den gesamten Betrieb bzw. um einzelne Prozessschritte zeigen Schwachstellen im Betrieb auf bzw. lassen Verursacher von Abwasser und Abfall in ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung erkennen.

Die im Rahmen von ZERMEG durchgeführte Modellierung basiert auf PC-Software unter zur Hilfenahme von EDV-Tools, die allgemein verfügbar sind (zB VBA ), um eine uneingeschränkte Anwendung in interessierten Betrieben zu ermöglichen. Die computerunterstützte Modellierung ist so aufgebaut, dass mittels verfahrenstechnischer „Unit Operations“ beliebige Prozesskombinationen nachgerechnet werden können.

### 5.2 BEDARFSANALYSE

Die Anforderungen an das Programm lassen sich folgendermaßen beschreiben:

- Berechnung nicht auf einen Betrieb beschränkt
- Bedarf an schnellem Durchrechnen von verschiedenen Prozessführungsvarianten
- Visualisierung für Firmen, um Handlungsbedarf aufzuzeigen
- Visualisierung für Experten, um Kombinationsmöglichkeiten mit neuen Verfahrensstufen zu erkennen
- Detailablauf in den Bädern oft unbekannt
- Abwasserzusammensetzung für externe Kreislaufführung vorausberechnen
- Instrument zur Mitarbeiterschulung

Die Hauptanforderung an das Simulationsprogramm lag darin, die Modulierung so zu gestalten, dass der Einsatz nicht auf einen speziellen Galvanikbetrieb oder ein spezielles Verfahren beschränkt ist.

Das bedeutet, dass die einzelnen Module für ein möglichst umfangreiches Einsatzgebiet konzipiert und bereits im Vorfeld alle Möglichkeiten der Stoffstromführung erfasst und berücksichtigt werden.

Ziel war es, ein System zu schaffen, das nach Aufnahme aller relevanter Prozessdaten ein Durchrechnen von verschiedenen Prozessführungsvarianten ermöglichen soll. Der Vergleich dieser verschiedenen Resultate dient als rasche Entscheidungshilfe für eine in Richtung „Zero Emission“ optimale Lösung der Prozessführung.

Viele Prozesse können exakt nur unter Kenntnis der relevanten kinetischen Parameter in den einzelnen Bädern nachgerechnet werden.

Um ein Instrument zu entwickeln, das leicht in verschiedensten Betrieben einsetzbar ist und eine Nachmodellierung des Prozesses mit vergleichsweise geringem Aufwand ermöglicht, müssen die Prozesse auf „Black Box“-Systeme mit Input- und Output-Analyse reduziert werden. Chemische oder physikalische Reaktionen wurden dabei vereinfacht bzw. durch empirische Daten ersetzt und in die Berechnungen des Programms eingebaut.

Für das Ergebnis sind vor allem der Gesamt- und Teilprozesswasserverbrauch, der Chemikalienverbrauch in den Bädern und die Qualität und Quantität der Chemikalien im Abwasser von Bedeutung.

Bei bestehenden Anlagen können mit diesem Programm theoretische Mindestverbräuche berechnet werden und durch den Vergleich mit den tatsächlich vorhandenen Werten Schwachstellen in der Produktionsführung aufgezeigt werden. Durch diese Visualisierung können Mitarbeiter auf Problemstellen aufmerksam gemacht und das Programm als wirksames Instrument für eine Mitarbeiterschulung eingesetzt werden.

### 5.3 AUFGABEN

Das Programm soll folgende Aufgaben abdecken:

- Simulation von bestehenden Anlagen
- Hilfe bei der Erkennung von Schwachstellen in bestehenden Anlagen
- Berechnung des Gesamtabwasserstroms und Schlammes
- Nachrechnen einzelner Prozesse bezüglich Menge und Zusammensetzung der Abwasserströme
- Durchrechnung verschiedenster Varianten der Prozessstromführung
- Entscheidungshilfe beim Umbau und Neubau von Anlagen
- Einbau einzelner neuer Unit Operations
- Einbau von Trennapparaten

### 5.4 UMSETZUNG

#### 5.4.1 PROGRAMM "QUICK"

Das Quick Programm dient der schnellen und unkomplizierten Berechnung der bei verschiedenen Spülsystemen und Prozessbädern anfallenden Wasserströme. Mit diesem Programm können die Auswirkung von verschiedenen Spülsystemen (Standspüle, Kaskadenspüle, Sprühspülen), der Ausschleppung aus dem Prozessbad sowie der Badtemperaturen (Verdunstung) auf die benötigte Frischwassermenge sowie die anfallende Abwassermenge schnell überprüft und so im Vorfeld bereits über die Anwendbarkeit unterschiedlicher Methoden zur Wassereinsparung entschieden werden. Für genauere Betrachtungen mit Chemikalieneinsatz, chemisch/physikalischen Reaktionen und diversen Aufbereitungsprozessen wird ein wesentlich differenziertes Programm entwickelt, das noch genauer in Kapitel 5.4.3 beschrieben wird. Die Berechnung der Spülsysteme erfolgt nach der in der Literatur angegebenen Methode<sup>11</sup>. Für alle Interessierten wird eine gekürzte Version des Quick Programms auf [www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net) zum Download angeboten.

---

<sup>11</sup> L. Winkler „Spülen Qualitätssicherung und Umweltschutz“, Galvanotechnik, Umwelttechnik 85 (1994) 9

Basisparameter:							
Durchsatz:		12	m <sup>2</sup> /h				
Anzahl Chargen		2	n				
Öffnungszeit Beckenabdeckung		2	min				
Verschleppung Prozessbad		0,1	l/m <sup>2</sup>	Enttftung			
Verschleppung H <sub>2</sub> O		0,1	l/m <sup>2</sup>				
Spülkriterium		5000					
Standspüle		4					

Beckenparameter									
		Becken 1		Becken 2		Becken 3		Becken 4	
		Enttftung		Standspüle		Kaskadenspüle		Sprühspüle	
Länge		3,5	m	3,5	m	3,5	m	3,5	m
Breite		0,8	m	0,8	m	0,8	m	0,8	m
Tiefe		1,2	m	1,2	m	1,2	m	1,2	m
Volumen		3,36	m <sup>3</sup>	3,36	m <sup>3</sup>	3,36	m <sup>3</sup>	3,36	m <sup>3</sup>
Oberfläche		2,8	m <sup>2</sup>	2,8	m <sup>2</sup>	2,8	m <sup>2</sup>	2,8	m <sup>2</sup>
Verwendung		x				x		x	
Verwurf alle x Stunden		5000	h	806	h				
Temperatur		60	°C	30	°C	30	°C	20	°C
Abdeckung									
Absauggeschwindigkeit		0	m/s	0	m/s	0	m/s	0	m/s
Heizung		x							
Kühlung									
Chemikaleinsatz									

**Abbildung 9: Quick –Programm**

Die Abbildung 9 zeigt das Eingabefenster des Programmes:

Im Bereich (a) werden allgemeine Anlagenparameter eingegeben, die Angabe einzelner Baddaten sowie welche Bäder verwendet werden, erfolgt im Bereich (b)

Gelb hinterlegte Felder übernehmen für die Berechnung relevante Werte, hellblau hinterlegte Felder spielen bei der Berechnung keine Rolle, sondern dienen nur der Information für den Anwender.

Das Programm übernimmt in Teil (a), Abbildung 9, allgemeine Daten wie den Durchsatz der Anlage (gerechnet als Oberfläche in m<sup>2</sup>/h) und die Anzahl der Chargen, in (b) die geometrischen Beckendaten. Die Anzahl der Chargen bestimmt zusammen mit der Öffnungszeit bei abgedeckten Becken mit die Verdunstung. Für die Verdunstungsberechnung ist neben den Badtemperaturen auch die Absauggeschwindigkeit der Luft über den Becken (b) entscheidend.

Bei einem gegebenen Spülsystem haben die Ausschleppung (a) aus den Prozessbädern sowie die Spülkriterien (a) entscheidenden Einfluss auf die benötigten Wassermengen. Soll ein Bad bei der Berechnung berücksichtigt werden, so ist es mit einem „x“ in der entsprechenden Spalte auszuwählen (b), nicht ausgewählte Bäder haben bei der grafischen Darstellung (Abbildung 11) keine Farbe, die Wasserströme für diese Becken sind natürlich null.

Die Angabe der Anzahl der Spülstufen bei der Kaskadenspüle erfolgt direkt im grafisch angedeuteten Becken (d), wobei für einen Sprühkranz oberhalb der Kaskadenspülbecken eine halbe Spülstufe in Rechnung gestellt wird<sup>12</sup>.

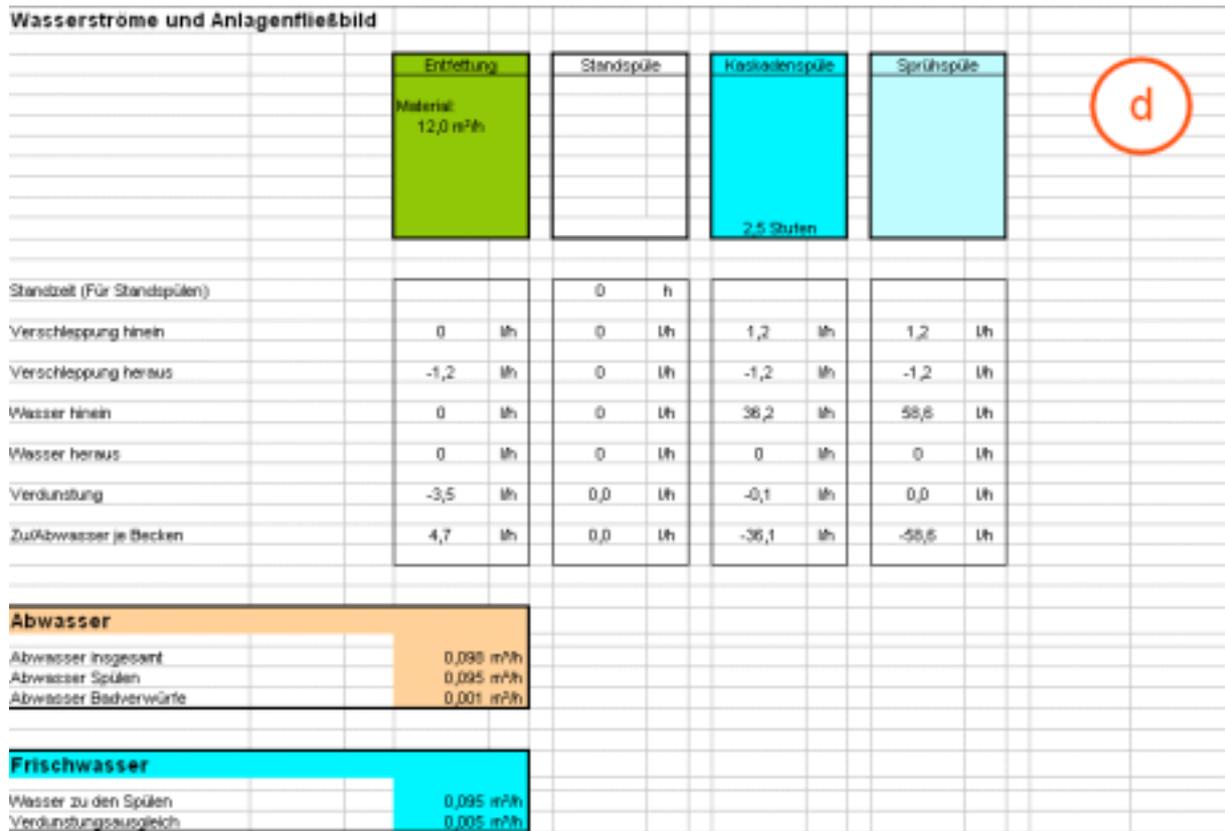
Die Ergebnisse für die einzelnen Becken sind direkt unterhalb der schematischen Darstellung (Abbildung 11, (d)) ablesbar, am Ende erfolgt eine Zusammenfassung über alle Ströme.

In dem Teil (c) des Excel – Arbeitsblattes erfolgen die Nebenrechnungen (Abbildung 10).

Nebenrechnungen:									
<b>Berechnungen zur Standzeit von Standspüle</b>									
									1,2 800,65 l/h
<b>Berechnung der</b>									
Abdeckgrad (1 = Nie abgedeckt)		1,00	1,00	1,00	1,00				
Luftgeschwindigkeit	0,00 m/s	3,55 l/h	0,08 l/h	0,08 l/h	0,01 l/h				
	0,25 m/s	8,29 l/h	0,41 l/h	0,41 l/h	0,07 l/h				
	0,50 m/s	11,82 l/h	0,79 l/h	0,79 l/h	0,16 l/h				
	1,00 m/s	15,78 l/h	1,04 l/h	1,04 l/h	0,21 l/h				
	1,50 m/s	19,39 l/h	1,36 l/h	1,36 l/h	0,29 l/h				
		3,55 l/h	0,08 l/h	0,08 l/h	0,01 l/h				
<b>Frischwasser/Abwasser</b>									
Netto Abwasser	-84,72 l/h	0,00 l/h	0,00 l/h	-36,12 l/h	-58,60 l/h				
Netto Zuwasser	4,75 l/h	4,75 l/h	0,00 l/h	0,00 l/h	0,00 l/h				
Netto Verdunstung	-3,64 l/h								
Netto Spülen zu	84,82 l/h								
Kontrolle (soll Ausschleppung sein)	1,20								
<b>Badrennwärfe</b>									
Badverfärte kontinuierlich gerechnet	0,67	0,67 l/h	0,00 l/h						

Abbildung 10: Nebenrechnungen

<sup>12</sup> H. L. Pinkerton, Electroplating Engineering Handbook, A. K. Graham (Ed.), p. 754, 3<sup>rd</sup> Ed. (1971)



**Abbildung 11: Ergebnisdarstellung im Quick-Programm**

Im Teil (d) gibt es eine einfache grafische Darstellung des Vorganges, nicht verwendete Bäder, hier die Standspüle, haben keine Farbe. Am Ende erfolgt eine Zusammenfassung der Wasserströme.

#### 5.4.2 BERECHNUNGEN FA. HEUBERGER

Ein Beispiel für die praktische Anwendung des Quick Programms ist die Abschätzung der Wasserverbräuche bei der Firma Eloxal Heuburger zum Spülen nach der Beize, die auch eine Entscheidungshilfe für weitere Maßnahmen darstellt. Zu Beachten ist der große Effekt der Einbindung einer zusätzlichen Standspüle nach der Beize, die aber selbst etwa jede 2. Betriebswoche ausgetauscht werden muss.

**Tabelle 7: Wasserverbrauch der Spülkaskade nach der Beize in der Firma Heuburger<sup>13</sup>**

Spülsystem	Wasserverbrauch
2 stufige Kaskade, Spülkranz über Becken	300 l/h
Standspüle, 2 stufige Kaskade, Spülkranz über Becken	65 l/h
3 Stufige Kaskade, Spülkranz über Becken	130 l/h
Standspüle, 3 stufige Kaskade, Spülkranz über Becken	32 l/h

<sup>13</sup> der Durchsatz der Anlage liegt bei 40 m<sup>2</sup> eloxierter Oberfläche pro Stunde

### 5.4.3 ZEPRA (ZERO EMISSION PROGRAM ANALYSIS)

Der Programmablauf der vollständigen Simulation richtet sich nach den einzelnen Durchläufen der Werkstücke (Chargen). Jede unregelmäßige Zugabe von Chemikalien (Nachschärfen) oder Abfluss (Badverwurf, Recyclingstrom) wurde im Programm berücksichtigt.

Die Temperatur einiger Bäder bewegt sich in Bereichen bei denen die Verdunstung bereits berücksichtigt werden muss. Dabei muss zwischen Bädern mit bzw. ohne Absaugung unterschieden werden, wodurch es durch unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten an den Badoberflächen zu unterschiedlichen Verdunstungsmengen kommt.

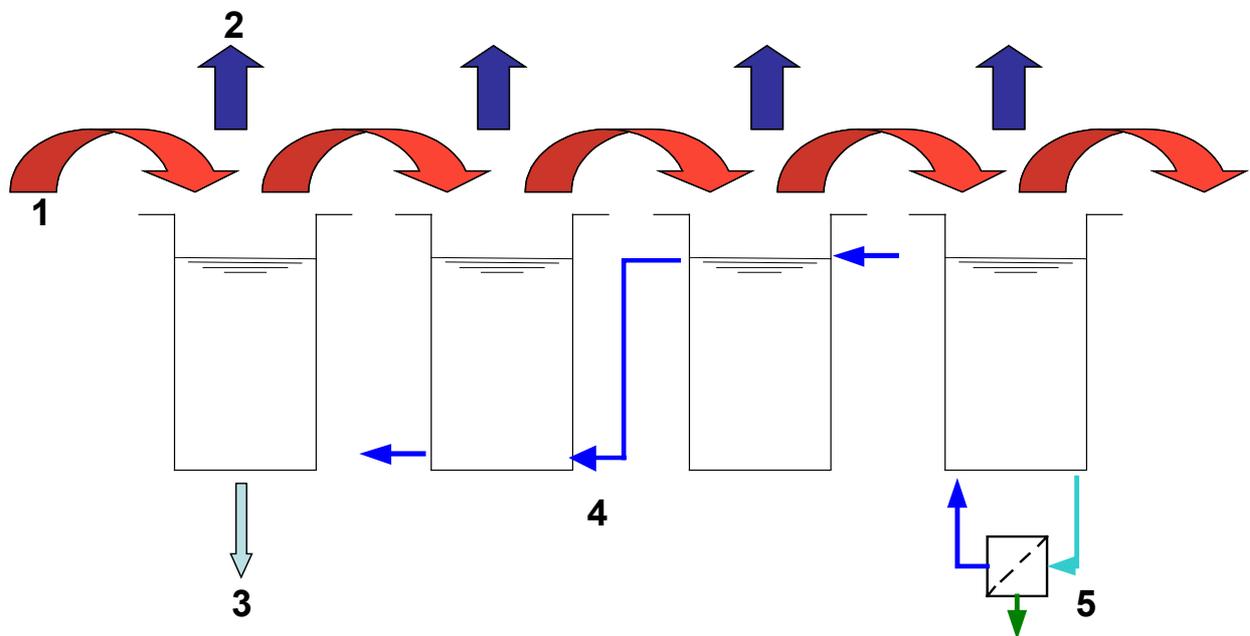


Abbildung 12: Mögliche Abwasserströme

- 1 Aus- und Einschleppung mit dem Materialstrom
- 2 Verdunstung
- 3 Direkter Badverwurf
- 4 Spülwasser
- 5 Abwasser aus der Badaufbereitung

Als Grundlage für die Prozessbeschreibung wurde eine Black Box erstellt, die je nach vorhandenem Hintergrundwissen den Prozess durch eine chemische, physikalische Reaktion oder Erfahrungswerte beschreibt. Als erster Schritt wurden die Unit Operations als stationäre Systeme ohne chemische Umwandlung betrachtet. Die Bilanzgrenzen werden um die einzelnen Unit Operations gelegt und die eintretenden und austretenden Ströme für die Erstellung der Bilanzgleichung herangezogen.

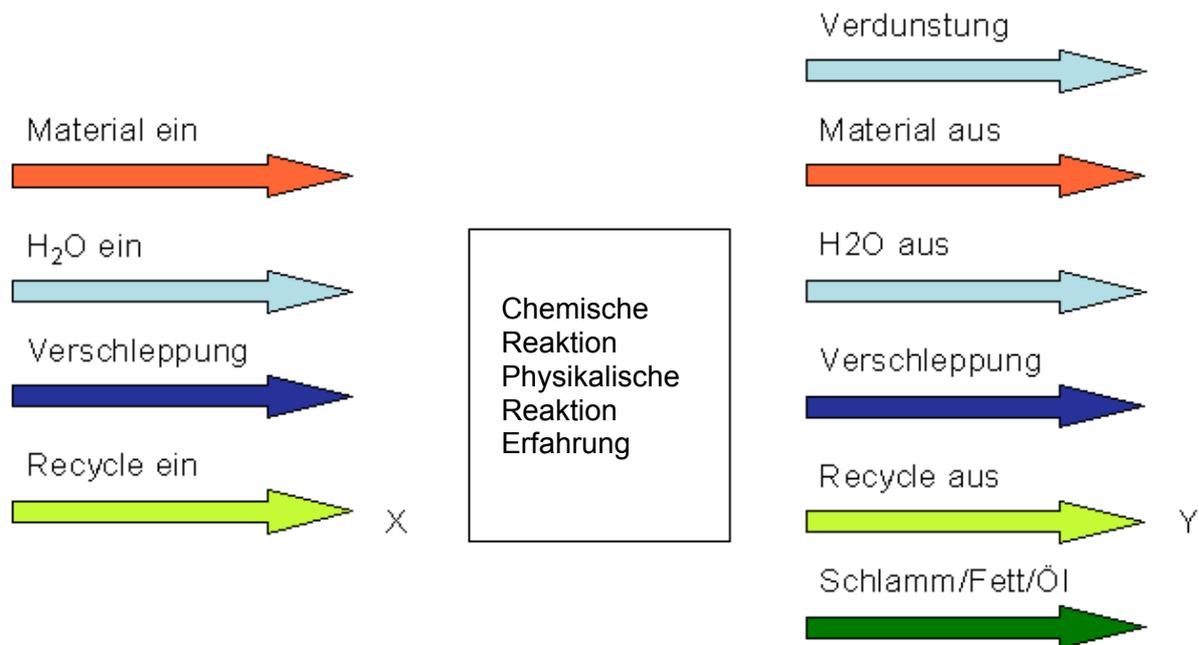


Abbildung 13: Modellierung als Black Box

In vielen Galvanikbetrieben sind die genauen chemischen/physikalischen Reaktionen oft unbekannt und ebenso die genaue Zusammensetzung der Chemikalien in den Bädern, da diese ein Betriebsgeheimnis der Chemikalienhersteller darstellen.

Das Black Box Prinzip bietet in beiden Fällen den Vorteil, dass trotz dieser Lücken eine Bilanzgleichung aufgestellt werden kann. Falls chemische bzw. physikalische Reaktionen theoretisch nachgerechnet werden können, können diese leicht in das bestehende Modell eingebunden werden.

Die Ergebnisse von Berechnungen der chemischen Vorgänge mit unvollständigen Modellen sind oft schlechter als die Ergebnisse durch Erfahrungswerte. Vor allem in der Berechnung der Kinetik (zB Abtrag von Aluminium bei der Beize, Beizzeiten) sind in der Literatur kaum brauchbare theoretische Grundlagen vorhanden.

Ein weiterer Vorteil in der Verwendung von Black Boxes besteht in der Möglichkeit, bereits bestehende Prozessschritte umzuändern (zB der Austausch von nasser Entfettung durch den Einbau einer trockenen Entfettung) und so Prozessvergleiche anzustellen.

Bei der Entscheidung, das Programm mit der Programmiersprache Excel-VBA zu programmieren, wurden die verschiedenen Vor- und Nachteile abgewogen. Für Excel-VBA spricht die leichte Nachvollziehbarkeit der Berechnungen und die Einbindung in die Office-Umgebung. Für den Benutzer bzw. die Firma bedeutet das, dass kein neues Computerprogramm gekauft werden muss und der Benutzer auf einer bekannten Programmoberfläche arbeiten kann.

Anhand der Prozessschritte des Betriebs Eloxal Heuberger soll der Programmablauf erklärt werden:

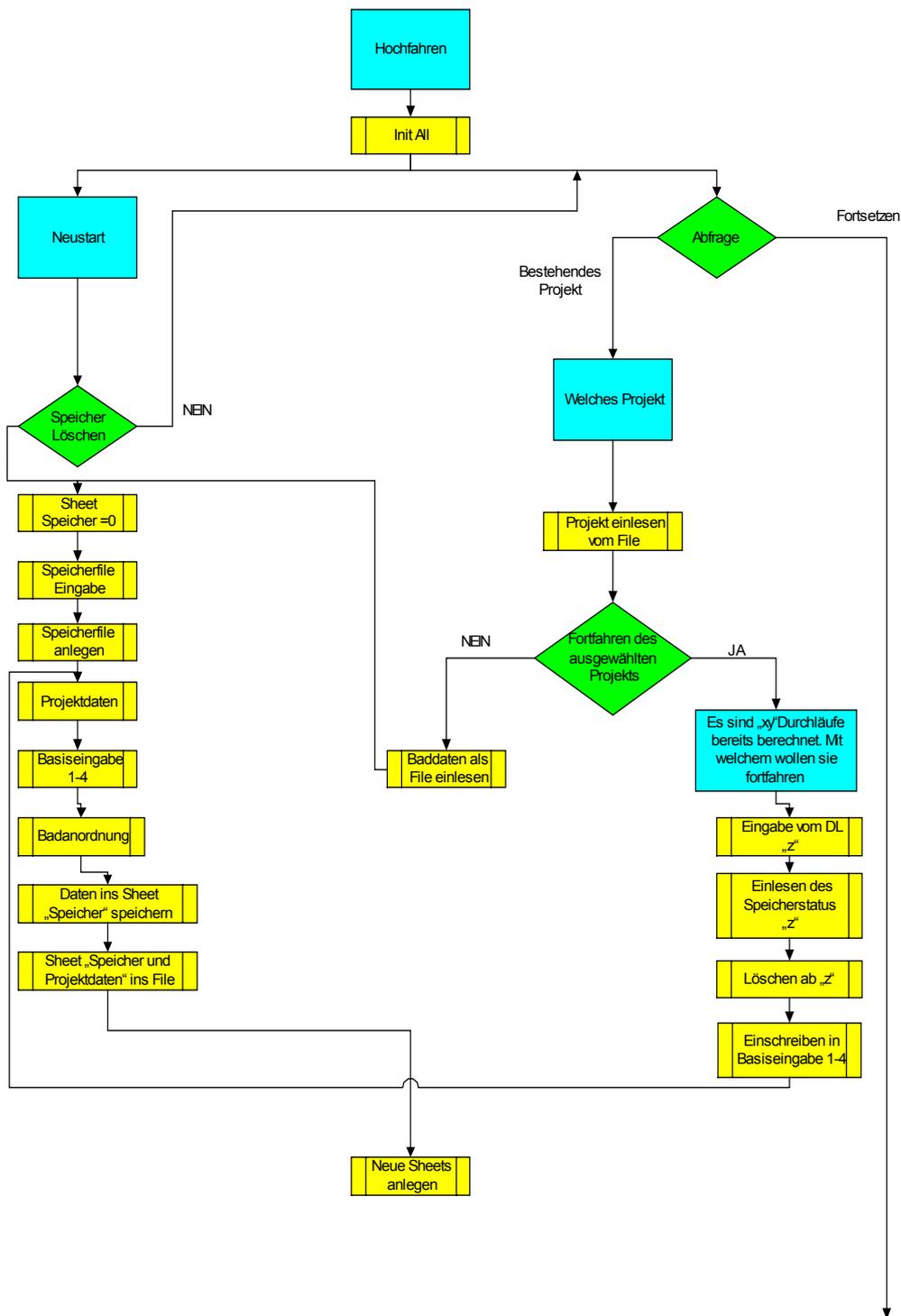
Der Aufbau des Programms besteht aus Arbeitsblättern mit veränderbarem und fixem Namen. Unter Arbeitsblättern mit veränderbarem Namen versteht man die „Sheets“, die je

nach Bad- bzw. Prozessablauf benannt und in der entsprechenden Badabfolge angelegt werden. Arbeitsblätter mit fixem Namen sind folgende (Tabelle 8):

**Tabelle 8: Arbeitsblätter von ZEPRA**

<b>Arbeitsblattname</b>	<b>Funktion</b>
Projektdate	Allgemeine Daten zum Projekt (Nummer, Version, Bezeichnung, Anfang und Enddatum, Verantwortlicher und Firma); Schaltflächen zum Neustart und Fortsetzung eines bestehenden Projekts
Basiseingabe 1	Daten zum Arbeitsverlauf in der Firma Daten zum verwendeten Material
Basiseingabe 2	Festlegung der Badreihenfolge mit zusätzlichen Badinformationen
Basiseingabe 3	Übernahme der Badreihenfolge aus Basiseingabe 2 und Informationen zur Badzusammensetzung
Basiseingabe4	Informationen und Anordnung der Trennapparate
Badanordnung	Visualisierte Ausgabe der Badanordnung
Visio	Fließschema im Visio (in Entwicklung)
Ausgabe	Wasserverbrauch: Zuwasser, Abwasser und Abwasserinhaltsstoffe
Vorgabewerte	Auswahl des Anlagentypus (Eloxal, Galvanik, etc.) Badgeometrie (Länge, Breite, Höhe); Badeigenschaften und Badzusammensetzung; Daten zu den Trennapparaten; Daten zum Material und Arbeitsablaufs
Speicher	Speicherfile für sämtliche Bad- und Stromdaten einer Charge (wird auf Wunsch in einem externen Speicherfile abgelegt)

Das Fließschema zeigt die ersten Schritte des Programms nach dessen Start. Nach dem Öffnen des Programms werden durch „Init All“ alle relevanten Vorgabewerte in die Basiseingabe 1 - 4 eingelesen. Danach kann ein „Neustart“ erfolgen oder ein bereits bestehendes Projekt gestartet werden.



**Abbildung 14: Programmablauf von ZEPRA**

Bei der Entscheidung zum Neustart werden alte Daten aus dem Speicher gelöscht und abgefragt, ob ein neuer Speicherfile angelegt werden soll. In dem Speicherfile (Speicher Extern) werden die Daten aus dem „Speichersheet“ pro Durchlauf gespeichert und dadurch eine Zurückverfolgung der errechneten Prozessdaten ermöglicht.

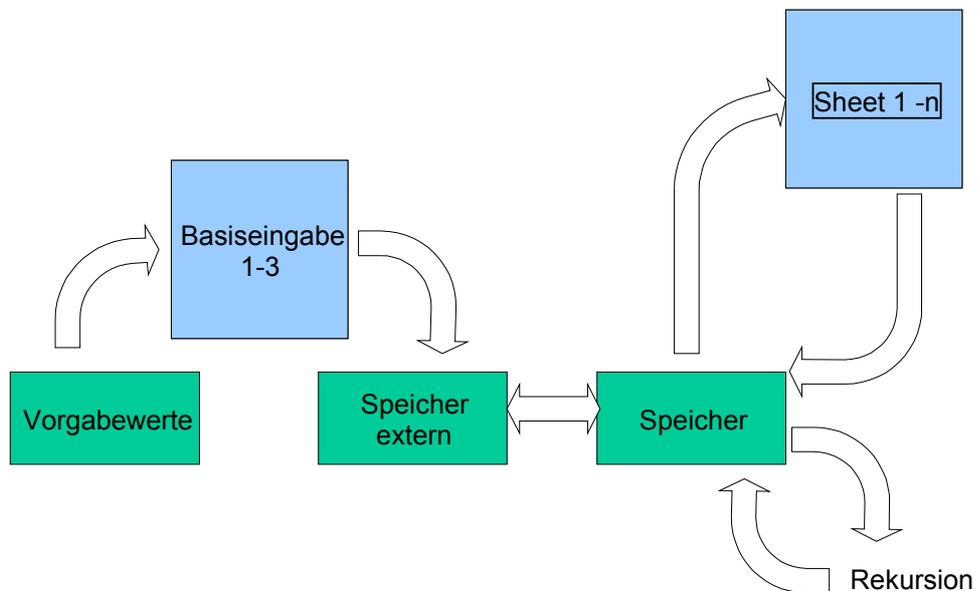


Abbildung 15: Datenübergabe in ZEPRA

Eingabe und Kontrolle der Basisdaten für den Arbeitsablauf					
zurück		weiter im Programm			
<b>Daten zum Arbeitsablauf in der Firma</b>					
Arbeitsstunden pro Tag			10 h		
Arbeitsstunden pro Jahr			5000 h		
Chargen pro Stunde			4 1/h		
Durchsatz der Anlage			267 kg/h		
Wegzeit von Becken zu Becken			120 s		
Material je Charge			67 kg/Traverse		
Traversen sind ablegbar			ja		
<b>Daten zum verwendetem Material</b>					
Art des Materials		Aluminium	Silizium	Magnesium	Andere
(Zusammensetzung in kg)		60,3	3,35	3,35	0
spezifische Oberfläche		0,15	m <sup>2</sup> /kg		
Dichte		2700	kg/m <sup>3</sup>		
Profilierung der Oberfläche		wenig			
Verunreinigung der Oberfläche		keine			

Abbildung 16: Basiseingabe 1 in ZEPRA

Beim Öffnen eines bereits bestehenden Projekts besteht die Möglichkeit, bei dem zu letzt geöffneten Durchlauf fort zu fahren oder bei einem beliebigen bestehenden Projekt an einer beliebigen Stelle zu starten.

Um von jeder beliebigen Stelle bzw. nach jedem beliebigen Durchlauf das Programm starten zu können, müssen alle Daten pro Charge in einem externen Speicher gespeichert werden. Für jedes Projekt wird ein Arbeitsfile angelegt und in diesem pro Programmdurchlauf eine Arbeitsmappe erstellt. Im ersten Schritt werden die Daten aus dem „externen Speicher“ in den für diesen Durchlauf aktuellen Speicher geschrieben. Aus dem aktuellen Speicher beziehen alle Arbeitsblätter mit variablem Namen (Sheet 1-n) die Bad- und Stromdaten. Nach Berechnung eines Prozesses werden die Ergebnisse aus dem Sheet in den Speicher importiert. Dadurch können die Daten der einzelnen Ströme in beliebiger Reihenfolge ausgelesen werden, was vor allem bei Recyclingströmen notwendig ist.

Im Arbeitsblatt Basiseingabe 1 werden die Daten zum Arbeitsablauf und Material aus den Vorgabewerten eingeschrieben:

Hier besteht die Möglichkeit, diese Daten nochmals zu ändern, bevor mit dem Button „weiter im Programm“ das Programm fort gesetzt wird. Auf dem Arbeitsblatt „Basiseingabe 2“ wird die Badreihenfolge festgelegt. Mittels Dropdown-Feldern können die für den Anlagetyp relevanten Badtypen (zB alkalische Entfettung, alkalische Beize E6; Standspüle, Spüle, Eloxalbad etc.) ausgewählt werden. Durch die Auswahl werden Standardwerte für Badgeometrie, Badtemperatur, Spülkriterium etc. aus dem Blatt Vorgabewerte eingelesen. Die Reihenfolge wird auf dem Arbeitsblatt Basiseingabe 3 und Daten für Badchemikalien ebenfalls aus dem Arbeitsblatt Vorgabewerte übernommen.

In diesen zwei Arbeitsblättern besteht die Möglichkeit, die Vorgabewerte zu verändern und auf die tatsächlichen Prozessanfangswerte anzupassen.

### Eingabe und Kontrolle der Basisdaten für die Becken: geometrische Daten

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>zurück</span> <span>weiter im Programm</span> </div>														
Beckendaten														
Position	Typ	Länge	Breite	Tiefe	Abstand	Temperatur	Stufen	Spülkriterium	beheizt	Galvano	abgedeckt	jede Charge	Verweilzeit	Verschleppung
		m	m	m	m	°C			l/m <sup>2</sup>	\$				
01	alkalische Entfettung	8	1,2	2	1,7	50	1	1	beheizt	nein	offen	1	15	0,15
02	alkalische Beize E6	8	1,2	2	1,7	60	1	1	beheizt	nein	offen	1	15	0,45
03	Standspüle	8	1,2	2	1,7	40	1	1000		nein	offen	1	15	0,15
04	Spüle	8	1,2	2	1,7	30	3,5	1000	gekühlt	nein	offen	1	15	0,15
05	Eloxalbad	8	1,2	2	1,7	20	1	1	beheizt	ja	offen	1	15	0,15

Abbildung 17: Basiseingabe 2

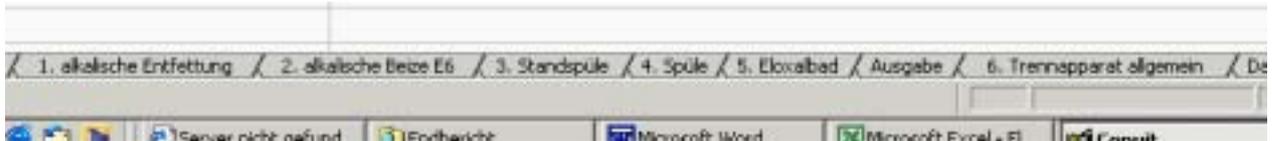
### Eingabe und Kontrolle der Basisdaten für die Becken: Chemikalien

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>zurück</span> <span>weiter im Programm</span> </div>													
Beckendaten													
Typ	Komponente 1	Komponente 2	Komponente 3	Komponente 4	Komponente 5	Komponente 6	Komponente 7	Komponente 8	Komponente 9	Komponente 10	Komponente 11	Komponente 12	Komponente 13
	H <sub>2</sub> O	NaOH	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Al	Legierungssalze	Fette + Öle	Zusatzstoffe	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> COOH	Oxalsäure	HCl	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	Chromsäure
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
alkalische Entfettung	1000,00	10,00	0,00	0,00	0,00	100,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
alkalische Beize E6	1000,00	100,00	0,00	100,00	50,00	100,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Standspüle	1000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spüle	1000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eloxalbad	1000,00	0,00	180,00	10,00	5,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Abbildung 18: Basiseingabe 3

Auf Basiseingabe 4 erfolgt die Anordnung der Trennapparate und ebenfalls werden die dazu relevanten Vorgabewerte eingelesen. Mittels Button „Weiter im Programm“ im Programmkopf werden die alten Arbeitsblätter für die Bäder und Trennapparate gelöscht und in der auf Basiseingabe 2 bzw. 4 vorgegebenen Reihenfolge neue Bad-Arbeitsblätter erstellt. Dabei wird jedes Blatt mit Nummer der Reihenfolge und dem Namen des Badtyps versehen, zB

1. alkalische Entfettung. Die Blätter für die Bäder unterscheiden sich außer im Namen in dieser Phase nicht.



**Abbildung 19: Badabfolge**

Erst durch den Button „Parameter Eingabe“ öffnet sich folgendes Popup Fenster:

**Abbildung 20: Badeingabe-Sheet**

Im Programmfenster können je nach Bedarf die angegebenen Ströme aktiviert oder deaktiviert werden. Bei % WasserAus zu RecyclingAus wird im Bedarfsfall das Verhältnis vom austretenden Wasserstrom zum austretenden Recyclingstrom eingegeben. In der Mitte des Fensters werden nochmals relevante Baddaten angezeigt, wobei hier die letzte Möglichkeit der Veränderungen der Badwerte besteht. Nach „Übernehmen“ dieser Daten kommt es zur Bilanzberechnung um das Bad und zur folgenden Ausgabe:

Parameter Eingabe

Berechnen

Weiter im Programm

Input			Output				
<b>Material Ein</b>	WAHR	FALSCH	Badtemperatur	60 °C	<b>Material Aus</b>	WAHR	FALSCH
Gewicht	87,0	kg	Verschleppung aus	0,45 kg/m <sup>2</sup>	Gewicht	86,1	kg
Oberfläche	11,1	m <sup>2</sup>	Badzusatz	10 g/l	Oberfläche	11,1	m <sup>2</sup>
<b>Komponenten</b>			NaOH	100 g/l	<b>Komponenten</b>		
Al	90,00		Verhältnis Wasser/Recycling		Al	93,45	
Si	3,25		Beizezeit	15 min	Si	3,25	
Mg	3,25		Absolute Menge an Al	192 kg	Mg	3,25	
Andere	0,00				Andere	0,00	
<b>Wasser Zulauf</b>	FALSCH	WAHR			<b>Abwasser</b>	FALSCH	WAHR
Massenfluß	0,0	kg			Massenfluß	0,0	kg
Temperatur	0,0	°C			Temperatur		°C
<b>Chemikalien</b>					<b>Chemikalien</b>		
H <sub>2</sub> O	0,00				H <sub>2</sub> O	0,00	
NaOH	0,00				NaOH	0,00	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00	
Al	0,00				Al	0,00	
Legierungsstoffe	0,00				Legierungsstoffe	0,00	
Fette-Öle	0,00				Fette-Öle	0,00	
Zusatzstoffe	0,00				Zusatzstoffe	0,00	
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OOH	0,00				C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OOH	0,00	
Quarzstaub	0,00				Quarzstaub	0,00	
HCl	0,00				HCl	0,00	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,00				H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,00	
HNO <sub>3</sub>	0,00				HNO <sub>3</sub>	0,00	
Chromsäure	0,00				Chromsäure	0,00	
<b>Wasserstrom2</b>	FALSCH	WAHR			<b>Recycling</b>	FALSCH	WAHR
Massenfluß	0,0	kg			Massenfluß	0,0	kg
Temperatur	0	°C			Temperatur		°C
Kommt von Bad	0				Geht ins Bad		
<b>Chemikalien</b>					<b>Chemikalien</b>		
H <sub>2</sub> O	0,00				H <sub>2</sub> O	0,00	
NaOH	0,00				NaOH	0,00	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00	
Al	0,00				Al	0,00	
Legierungsstoffe	0,00				Legierungsstoffe	0,00	
Fette-Öle	0,00				Fette-Öle	0,00	
Zusatzstoffe	0,00				Zusatzstoffe	0,00	
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OOH	0,00				C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OOH	0,00	
Quarzstaub	0,00				Quarzstaub	0,00	
HCl	0,00				HCl	0,00	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,00				H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,00	
HNO <sub>3</sub>	0,00				HNO <sub>3</sub>	0,00	
Chromsäure	0,00				Chromsäure	0,00	
<b>Verschleppung Ein</b>	WAHR	FALSCH			<b>Verschleppung Aus</b>	WAHR	FALSCH
Massenfluß	15	kg			Massenfluß	4,5	kg
Temperatur		°C			Temperatur		°C
Wirkstoffanteil					Wirkstoffanteil		
<b>Chemikalien</b>					<b>Chemikalien</b>		
H <sub>2</sub> O	0,85				H <sub>2</sub> O	0,83	
NaOH	0,00				NaOH	0,00	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00	
Al	0,00				Al	0,00	
Legierungsstoffe	0,00				Legierungsstoffe	0,00	
Fette-Öle	0,00				Fette-Öle	0,00	
Zusatzstoffe	0,00				Zusatzstoffe	0,00	
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OOH	0,00				C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> OOH	0,00	
Quarzstaub	0,00				Quarzstaub	0,00	
HCl	0,00				HCl	0,00	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,00				H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,00	
HNO <sub>3</sub>	0,00				HNO <sub>3</sub>	0,00	
Chromsäure	0,00				Chromsäure	0,00	

Abbildung 21: Ergebnis-Sheet eines Bades

Die Berechnungen der verschiedenen Bäder erfolgten bei Spülbäder<sup>14,15</sup>, der Verdunstung<sup>16</sup> und der Beize<sup>17</sup> nach Angaben aus der Literatur. Nach Berechnung der Strommengen, Stromzusammensetzungen und Badzusammensetzungen springt man durch „weiter im Programm“ auf das nachfolgende Bad bzw. Trennapparat. Im ersten Berechnungsdurchlauf wird so jeder Prozessschritt angesteuert und einzeln berechnet. Dabei werden die Daten von vorhergehenden Bädern aus dem Speicherblatt übernommen. Bei jedem 1+nten Prozessdurchlauf hat man die Möglichkeit, sich zwischen Einzelschritt- und Gesamtdurchlaufberechnung zu entscheiden. Bei Gesamtdurchlaufberechnung wird durch die Eingabe der Chargenanzahl die Berechnungen beliebig oft wiederholt und aus dem Ausgabe-Sheet folgende Daten exportiert:

- Frischwasser
- Abwasser
- Abwasserinhaltsstoffe

Ausgabe					
 					
<b>Zuwasser</b>					
		Menge pro Charge	Gesamtmenge nach	Chargen	
		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
	Gesamtzuwasser	9,34			
	VE Zuwasser				
	Frischwasser				
<b>Abwassere</b>					
	Gesamtabwasser	9,34			
	Badverwerfungen				
	zu entsorgende Abfälle				
<b>Abwasserinhaltsstoffe</b>					
		Menge pro Charge	Gesamtmenge nach	Chargen	Konzentration Gesamt
		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>
	NaOH				0,03
	H2SO4				0,00
	Al				0,03
	Legierungsstoffe				0,00
	Fette+Öle				0,00
	Zusatzstoffe				0,00
	C2H3OOH				0,00
	Oxalsäure				0,00
	HCl				0,00
	H3PO4				0,00
	HNO3				0,00
	Chromsäure				0,00

Abbildung 22: Ausgabe-Sheet

<sup>14</sup> L. Winkler „Spülen Qualitätssicherung und Umweltschutz“, Galvanotechnik, Umwelttechnik 85 (1994) 9

<sup>15</sup> J. Mohler, "Spray Rinsing", Metal Finishing, January 1975

<sup>16</sup> G. Mazurczak, W. Schauer, K. Frischmann, "Beheizen und Kühlen von wässrigen Lösungen in der Ätz-, Beiz- und Galvanotechnik"

<sup>17</sup> persönliche Mitteilung Fa. Alufinish, DI Schneider

## **5.5 AUSBLICK**

Die nächsten Schritte der Programmierung sind die Realisierung von Trennoperationen, um einen sinnvollen Einsatz von Recyclingströmen zu berechnen. Ebenso sollen durch die Anbindung an das Programm „Visio“ der Produktionsablauf und der Abwasserstromverlauf visualisiert werden.

Nach Fertigstellung der Unit-Operation-Programmierung ist die Anbindung an eine Online-Datenerhebung und an die Verknüpfung mit der Expertendatenbank (Kapitel 6.2.2, 6.3.2, 6.4.2, 6.5.2) geplant.

## 6 ZAHLENMATERIAL ZUR UNTERSTÜTZUNG DER BERECHNUNG UND BENCHMARKS

### 6.1 GESAMTEFFIZIENZ VON GALVANISCHEN PROZESSEN

In den europäischen BREF-notes werden folgende grobe Vergleichszahlen zur Charakterisierung typischer Gesamtmaterialeffizienzen von galvanischen Prozessen angegeben. Diese Zahlen können eine grobe Orientierung für die Materialnutzung geben.

**Tabelle 9: Gesamteffizienz galvanischer Prozesse**

Zinc plating (all processes)	: 70-90%
Nickel plating (without recycle)	: 80-85%
Nickel plating (with recycle)	: 95%
Autocatalytic nickel plating	: 95% (excluding spent baths)
Copper (cyanide)	: 80%
Tin and tin alloys	: 95%
Chromium plating (without recycle)	: 15%
Chromium plating (with recycle)	: 96%
Gold and precious metal	: 98%
Silver	: 95%
Cadmium	: 99%
Electrophoretic coatings	: 98%

### 6.2 AUSSCHLEPPUNG

#### 6.2.1 ERMITTLUNG DER AUSSCHLEPPVERLUSTE

Das Ermitteln der Ausschleppverluste ist für die Oberflächentechnik im Hinblick auf die Abwasserbehandlung sowie für die Berechnung von Chemikalienverbräuchen unerlässlich. Zuverlässige Werte über die Ausschleppverluste sind oft nur auf empirischem Wege zu bestimmen. Die bisher in der Literatur publizierten Werte streuen in dem weiten Bereich von 4 bis 1.000 ml/m<sup>2</sup>.<sup>18</sup> Dabei werden allerdings meist die Bedingungen, unter denen die Werte gewonnen wurden, nur unvollständig angegeben. Ohne die genaue Kenntnis der dazugehörigen wichtigen Einflussfaktoren kann man solche Werte allerdings dann kaum auf eigene Verhältnisse übertragen.

Kimmerl hat eine Reihe von Zahlenwerten für die Ausschleppung verschiedener Elektrolyte zusammengetragen. Als theoretisch ermittelten Wert für einfach geformte, flache Werkstücke, gut aufgehängt und gut ablaufend gibt er 4 ml/m<sup>2</sup> an, unter eben solchen Bedingungen für profilierte Werkstücke einen theoretischen Wert von 12, bei großflächigen Werkstücken einen von 25. Dem gegenüber stellt er gemessene Verschleppungen an kleineren profilierten Werkstücken von 20 bis 80 ml/m<sup>2</sup>.

---

<sup>18</sup> Ausschleppverluste in der Galvanotechnik, P. Kimmerl, Galvanische Berichte, Jg. 5, Heft 1, pp 15

Große Streuungen werden dann für praktisch ermittelte Ausschleppungen von als „schlecht abgetropft“ bezeichneten Werkstücken angegeben (Tabelle 10):

**Tabelle 10: Ausschleppungen in Abhängigkeit des Abtropfens**

	<b>Gut abgetropft</b>	<b>Sehr schlecht abgetropft</b>
Senkrecht hängende Werkstücke	15 ml/m <sup>2</sup>	160 ml/m <sup>2</sup>
Waagrecht hängende Werkstücke	30 ml/m <sup>2</sup>	420 ml/m <sup>2</sup>
Becherförmige Werkstücke		330 bis 1.000 ml/m <sup>2</sup>

Die Gegenüberstellung dieser Zahlenwerte zeigt, dass abhängig von den Prozessbedingungen (Dichte und Viskosität des Elektrolyten, Montage der Teile auf den Gestellen, Auszugsgeschwindigkeit der Gestelle, Abtropfzeiten) erhebliche Ausschleppverluste auftreten. Daher muss man die Ausschleppverluste durch Versuche, möglichst im praktischen Betrieb selbst ermitteln. Dazu wird eine bestimmte Anzahl von Werkstücken bzw. Galvanisiergestellen durch einen Standspülbehälter gefahren und danach das Spülwasser analysiert.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für Ausschleppverluste sind

- Einflussfaktoren des Werkstückes [Form des Werkstückes (Profil), Größe des Werkstückes (Abmessungen und Oberfläche), Art und Zustand der Metalloberfläche (abgeschiedenes Metall, Rauigkeit)]
- Einflussfaktoren des Elektrolyten [Zusammensetzung, Arbeitstemperatur, physikalische Daten (Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung)]
- Technologische Rahmenbedingungen (Art des Aufhängens, Abtropfzeit, Austauschgeschwindigkeit)

Der Einfluss der Form des Werkstückes ist erheblich. Aus Vergleichen von ebenen und profilierten Werkstücken gleicher Oberfläche zeigte sich, dass profilierte Werkstücke die 2- bis 3,5-fache Ausschleppung erzeugen.

Es ist bekannt, dass bei Kleinteilen höhere Ausschleppverluste pro Flächeneinheit auftreten, als bei größeren Teilen. Kleine Bleche (ca. 0,1 dm<sup>2</sup>) wiesen gegenüber „großen“ Blechen mit 3 dm<sup>2</sup> eine dreifache Ausschleppung auf.

Der Unterschied der Rauigkeit des Metalls erwies sich im Vergleich zum Einfluss der Form der Werkstücke als gering. Eine einwandfrei PVC-beschichtete Gestelloberfläche wiederum verschleppt pro Flächeneinheit ca. 35 bis 50 % weniger als die metallische Werkstückoberfläche.

Exakte Aussagen über den Einfluss des Elektrolyten waren den Autoren anhand der vorliegenden Daten nicht möglich. Verschiedene Elektrolyten erzeugen eine 1,2- bis 2,2-fache Ausschleppung im Verhältnis zu Wasser. Dieser Faktor hängt von einer Reihe von physikalischen Daten ab, über deren Einfluss nur allgemeine Angaben gemacht werden können. Mit steigender Elektrolyttemperatur werden die Ausschleppverluste geringer. So soll zB durch eine Temperaturerhöhung von 25 auf 45 °C die Ausschleppung um etwa 20 % abnehmen. Mit steigender Dichte ist anzunehmen, dass weniger verschleppt wird, da der

Elektrolyt schwerer wird. Mit dem Erhöhen der Konzentration steigt aber oft die Viskosität um ein Vielfaches und eine hohe Viskosität bedeutet höhere Filmdicken und große Ausschleppverluste. Die Oberflächenspannung wirkt sich ebenfalls auf die Ausschleppverluste aus. Durch geeignete Netzmittel lässt sich die Oberflächenspannung erniedrigen (teilweise um 30 bis 50 %).

Einflussfaktoren umfassen durch die technologischen Bedingung eine große Anzahl von Möglichkeiten. Zunächst muss das Gestell einwandfrei und – womöglich – sauber isoliert sein. Es dürfen keine Risse oder Dopplungen vorhanden sein, die zusätzliche Ausschleppverluste verursachen. Die Werkstücke sollen so befestigt bzw. angeklemt werden, dass der Elektrolyt an einem Punkt abfließen kann und keine Schöpfwirkung auftritt. Die Werkstücke sollen auch nicht so untereinander hängen, dass der von oben nach unten ablaufende Elektrolyt auf ein darunter befestigtes Werkstück treffen kann.

Von großer Bedeutung ist die Abtropfzeit. Ihr Einfluss lässt sich anhand von vorhandenen Messdaten genauer abschätzen. Bei kurzen Abtropfzeiten treten sehr hohe Ausschleppverluste auf. Sie verringern sich mit dem Verlängern der Abtropfzeit bis auf ca. 10 Sekunden und bleiben danach nahezu konstant. Es sind deshalb in Hinsicht auf die Ausschleppverluste Abtropfzeiten von 10 bis 15 Sekunden zweckmäßig.

Aus der Analyse dieser Zusammenhänge wurde von den Autoren ein Modell zur theoretischen Bestimmung von Ausschleppverlusten ausgearbeitet. Dieses Modell geht von einer Minimalverschleppung bei bestimmten Idealbedingung aus und multipliziert diesen Wert mit 3 Faktoren (einem Werkstückfaktor, einem Elektrolytfaktor und einem technologischen Faktor).

Damit ergibt sich folgende einfache Beziehung:

$$X = f_w * f_E * f_T * X_{\min} \quad [\text{ml/m}^2]$$

$X$ \_\_\_\_\_ zu bestimmender Ausschleppverlust

$X_{\min}$ \_\_\_\_\_ minimaler praktischer Ausschleppverlust bei Idealbedingungen<sup>19</sup>

$f_w$ \_\_\_\_\_ Werkstückfaktor

$f_E$ \_\_\_\_\_ Elektrolytfaktor

$f_T$ \_\_\_\_\_ technologischer Faktor

Der Werkstückfaktor wird von der geometrischen Form, der Größe und dem Oberflächenzustand bestimmt.

$$F_w = f_{w1} * f_{w2} * f_{w3}$$

Entscheidend ist zunächst die Form des Werkstückes. Ein ebenes Blech hat den Profilcharakter  $f_{w1} = 1$ . Die Erfahrungswerte haben gezeigt, dass bei profilierten Werkstücken mit einem Faktor bis zu 6 gerechnet werden muss. Die Abbildung 23 gibt Anhaltswerte zur Bewertung der Werkstückform.

---

<sup>19</sup> die Idealbedingungen für den minimalen praktischen Ausschleppungsverlust  $X_{\min}$  sind:

Werkstück: ebenes, quadratisches Blech mit 4,5 dm<sup>2</sup> und glatter Stahloberfläche (Ziehblech)  
Elektrolyt: destilliertes Wasser bei 20 °C, 0,998 kg/l Dichte, 1,0005 CP Viskosität und 72,75 dyn/cm Oberflächenspannung

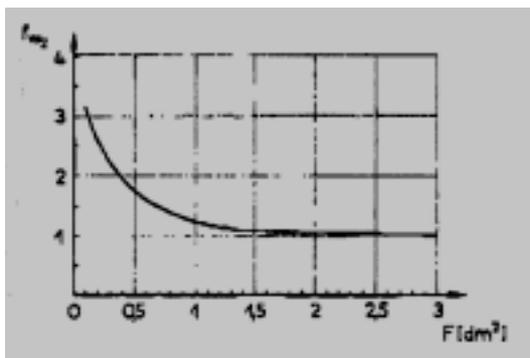
Technologische Bedingungen: Blech senkrecht zwischen Federkontakte geklemmt, nach einer Ecke leicht geneigt, 15 Sekunden Abtropfzeit und 6 cm/s Austauschgeschwindigkeit

Bei diesen Bedingungen ist  $X_{\min}$  15 ml/m<sup>2</sup>

Werkstückform	Profilfaktor $f_{w1}$	Beispiele
A. Ebene Werkstücke	1,0...1,5	ebenes Blech, ebene Blechteile
B. Schwach profilierte Werkstücke	1,5...2,0	Blechprofile mit Winkel 90°, einfach geformte Blechteile oder glatte kompakte Werkstücke
C. Profilierte Werkstücke	2,0...3,5	Blechprofile mit Winkel 60°, Scheinwerfer- ringe
D. Stark profilierte Werkstücke	3,5...6,0	Werkstücke mit nicht zu vermeidender Schöpfwirkung (Sacklöcher), Hohlteile, Motorradauspuff

**Abbildung 23: Berücksichtigung der Werkstückform**

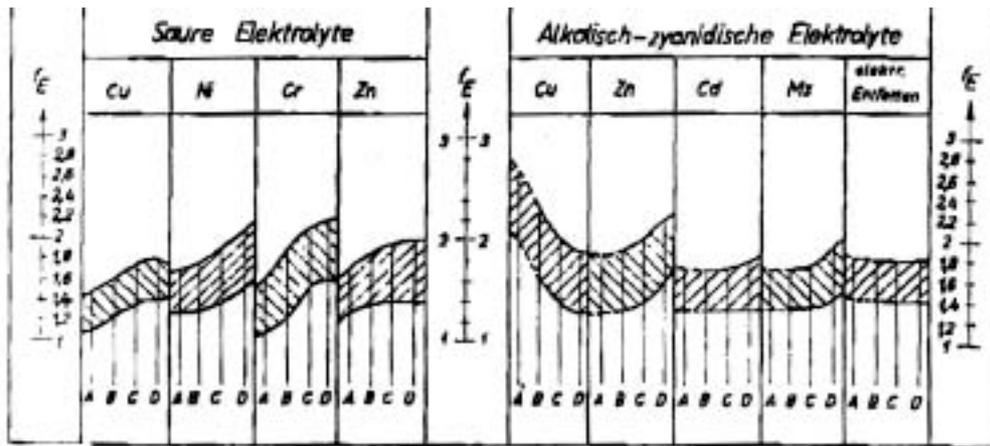
Der Größenfaktor  $f_{w2}$  braucht nur bei relativ kleinen Werkstücken berücksichtigt zu werden. Als Bezugsmaßstab wird die Werkstückoberfläche gewählt. Mit ihr kann aus der folgenden Abbildung der Größenfaktor abgelesen werden.



**Abbildung 24: Berücksichtigung der Werkstückfläche**

Im Vergleich zu den ersten beiden ist der Faktor für den Oberflächenzustand  $f_{w3}$  meist vernachlässigbar klein. Er liegt im Bereich von 1,0 bis 1,25 und wäre in Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit zu schätzen. Die Autoren geben allerdings keine Anhaltswerte.

Der Elektrolytfaktor wird pauschal angegeben. Eine Auswertung des Einflusses der einzelnen physikalischen Parameter ist mit den zur Verfügung stehenden Daten noch nicht möglich. Bei der gewählten Bezugnahme auf destilliertes Wasser sind die in der folgenden Abbildung 25 abzulesenden Faktoren für die angegebenen Elektrolyte zu verwenden. Für andere Elektrolyte muss eine Abschätzung erfolgen.



A = eben, B = schwach profiliert, C = profiliert, D = stark profiliert

Abbildung 25: Berücksichtigung des Einflusses der Elektrolyte

Zur Orientierung werden die Dichten von technisch eingesetzten Elektrolyten (Natronlauge, Salzsäure und Schwefelsäure) angegeben.<sup>20</sup>

Tabelle 11: Dichte von Natronlauge

Dichte d 20°/4°	NaOH Gehalt		Dichte d 20°/4°	NaOH Gehalt		Dichte d 20°/4°	NaOH Gehalt		Dichte d 20°/4°	NaOH Gehalt	
	Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l
1.000	0.159	0.0398	1.135	12.37	3.510	1.270	24.645	7.824	1.405	37.49	13.17
1.005	0.602	0.151	1.140	12.83	3.655	1.275	25.10	8.000	1.410	37.99	13.39
1.010	1.0455	0.264	1.145	13.28	3.801	1.280	25.56	8.178	1.415	38.49	13.61
1.015	1.49	0.378	1.150	13.73	3.947	1.285	26.02	8.357	1.420	38.99	13.84
1.020	1.94	0.494	1.155	14.18	4.095	1.290	26.48	8.539	1.425	39.495	14.07
1.025	2.39	0.611	1.160	14.64	4.244	1.295	26.94	8.722	1.430	40.00	14.30
1.030	2.84	0.731	1.165	15.09	4.395	1.300	27.41	8.906	1.435	40.515	14.53
1.035	3.29	0.851	1.170	15.54	4.545	1.305	27.87	9.092	1.440	41.03	14.77
1.040	3.745	0.971	1.175	15.99	4.697	1.310	28.33	9.278	1.445	41.55	15.01
1.045	4.20	1.097	1.180	16.44	4.850	1.315	28.80	9.466	1.450	42.07	15.25
1.050	4.655	1.222	1.185	16.89	5.004	1.320	29.26	9.656	1.455	42.59	15.49
1.055	5.11	1.347	1.190	17.345	5.160	1.325	29.73	9.875	1.460	43.12	15.74
1.060	5.56	1.474	1.195	17.80	5.317	1.330	30.20	10.04	1.465	43.64	15.98
1.065	6.02	1.602	1.200	18.255	5.476	1.335	30.67	10.23	1.470	44.17	16.23
1.070	6.47	1.731	1.205	18.71	5.636	1.340	31.14	10.43	1.475	44.695	16.48
1.075	6.93	1.862	1.210	19.16	5.796	1.345	31.62	10.63	1.480	45.22	16.73
1.080	7.38	1.992	1.215	19.62	5.958	1.350	32.10	10.83	1.485	45.75	16.98
1.085	7.83	2.123	1.220	20.07	6.122	1.355	32.58	11.03	1.490	46.27	17.23
1.090	8.28	2.257	1.225	20.53	6.286	1.360	33.06	11.24	1.495	46.80	17.49
1.095	8.74	2.391	1.230	20.98	6.451	1.365	33.54	11.45	1.500	47.33	17.75
1.100	9.19	2.527	1.235	21.44	6.619	1.370	34.03	11.65	1.505	47.85	18.00
1.105	9.64	2.664	1.240	21.90	6.788	1.375	34.52	11.86	1.510	48.38	18.26
1.110	10.10	2.802	1.245	22.36	6.958	1.380	35.01	12.08	1.515	48.905	18.52
1.115	10.555	2.942	1.250	22.82	7.129	1.385	35.505	12.29	1.520	49.44	18.78
1.120	11.01	3.082	1.255	23.275	7.302	1.390	36.00	12.51	1.525	49.97	19.05
1.125	11.46	3.224	1.260	23.73	7.475	1.395	36.495	12.73	1.530	50.50	19.31
1.130	11.92	3.367	1.265	24.19	7.650	1.400	36.99	12.95			

<sup>20</sup> Merck, ChemDAT

**Tabelle 12: Dichte von Salzsäure**

Dichte d 20°/4°	HCl Gehalt		Dichte d 20°/4°	HCl Gehalt	
	Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l
1.000	0.3600	0.09872	1.105	21.36	6.472
1.005	1.360	0.3748	1.110	22.33	6.796
1.010	2.364	0.6547	1.115	23.29	7.122
1.015	3.374	0.9391	1.120	24.25	7.449
1.020	4.388	1.227	1.125	25.22	7.782
1.025	5.408	1.520	1.130	26.20	8.118
1.030	6.433	1.817	1.135	27.18	8.459
1.035	7.464	2.118	1.140	28.18	8.809
1.040	8.490	2.421	1.145	29.17	9.159
1.045	9.510	2.725	1.150	30.14	9.505
1.050	10.52	3.029	1.155	31.14	9.863
1.055	11.52	3.333	1.160	32.14	10.225
1.060	12.51	3.638	1.165	33.16	10.595
1.065	13.50	3.944	1.170	34.18	10.97
1.070	14.49 <sub>5</sub>	4.253	1.175	35.20	11.34
1.075	15.48 <sub>5</sub>	4.565	1.180	36.23	11.73
1.080	16.47	4.878	1.185	37.27	12.11
1.085	17.45	5.192	1.190	38.32	12.50
1.090	18.43	5.509 <sub>5</sub>	1.195	39.37	12.90
1.095	19.41	5.829	1.198	40.00	13.14
1.100	20.39	6.150			

Der technologische Faktor  $F_T$  ergibt sich aus der Gestaltung des Gestelles, der Abtropfzeit und der Austauschgeschwindigkeit.

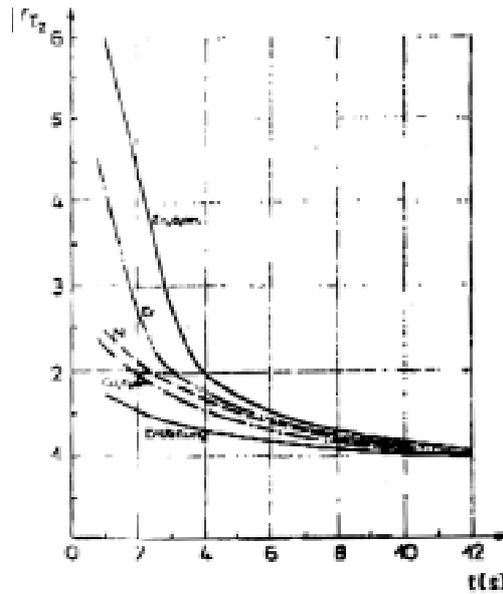
$$F_T = f_{T1} * f_{T2} * f_{T3}$$

Bei ordnungsgemäßer Gestelltechnik (ordentlich ausgeführte Isolation, keine Dopplungen) tritt keine Erhöhung der Ausschleppverluste auf. Es ist  $f_{T1} = 1$ . Wie sich Fehler hier auswirken, kann nicht im voraus beurteilt werden.

Der Einfluss der Abtropfzeit ist der folgenden Abbildung 26 zu entnehmen. Kurze Abtropfzeiten sollten weitgehend vermieden werden, da der Faktor  $f_{T2}$  dabei stark ansteigt. Dieser Anstieg ist auch von der Art des Elektrolyten abhängig.

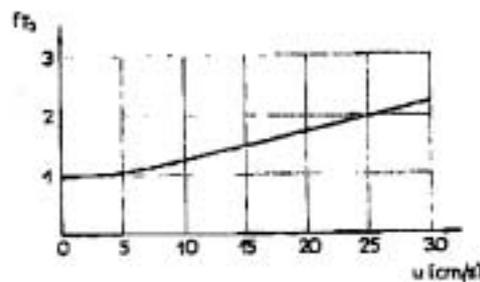
**Tabelle 13: Dichte von Schwefelsäure**

Dichte d 20°/4°	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Gehalt		Dichte d 20°/4°	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Gehalt		Dichte d 20°/4°	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Gehalt		Dichte d 20°/4°	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Gehalt	
	Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l		Gew.-%	Mol/l
1.000	0.2609	0.0266	1.225	30.79	3.846	1.450	55.45	8.198	1.675	75.49	12.89
1.005	0.9855	0.101	1.230	31.40	3.938	1.455	55.93	8.297	1.680	75.92	13.00
1.010	1.731	0.1783	1.235	32.01	4.031	1.460	56.41	8.397	1.685	76.34	13.12
1.015	2.485	0.2595	1.240	32.61	4.185	1.465	56.89	8.497	1.690	76.77	13.23
1.020	3.242	0.3372	1.245	33.22	4.216	1.470	57.36	8.598	1.695	77.20	13.34
1.025	4.000	0.4180	1.250	33.82	4.310	1.475	57.84	8.699	1.700	77.63	13.46
1.030	4.746	0.4983	1.255	34.42	4.404	1.480	58.31	8.799	1.705	78.06	13.57
1.035	5.493	0.5796	1.260	35.01	4.498	1.485	58.78	8.899	1.710	78.49	13.69
1.040	6.237	0.6613	1.265	35.60	4.592	1.490	59.24	9.000	1.715	78.93	13.80
1.045	6.956	0.7411	1.270	36.19	4.686	1.495	59.70	9.100	1.720	79.37	13.92
1.050	7.704	0.8250	1.275	36.78	4.781	1.500	60.17	9.202	1.725	79.81	14.04
1.055	8.415	0.9054	1.280	37.36	4.876	1.505	60.62	9.303	1.730	80.25	14.16
1.060	9.129	0.9865	1.285	37.95	4.972	1.510	61.08	9.404	1.735	80.70	14.28
1.065	9.843	1.066	1.290	38.53	5.068	1.515	61.54	9.506	1.740	81.16	14.40
1.070	10.56	1.152	1.295	39.10	5.163	1.520	62.00	9.608	1.745	81.62	14.52
1.075	11.26	1.235	1.300	39.68	5.259	1.525	62.45	9.711	1.750	82.09	14.65
1.080	11.96	1.317	1.305	40.25	5.356	1.530	62.91	9.8136	1.755	82.57	14.78
1.085	12.66	1.401	1.310	40.82	5.452	1.535	63.36	9.916	1.760	83.06	14.90
1.090	13.36	1.484	1.315	41.39	5.549	1.540	63.81	10.02	1.765	83.57	15.04
1.095	14.04	1.567	1.320	41.95	5.646	1.545	64.26	10.12	1.770	84.08	15.17
1.100	14.73	1.652	1.325	42.51	5.743	1.550	64.71	10.23	1.775	84.61	15.31
1.105	15.41	1.735	1.330	43.07	5.840	1.555	65.15	10.33	1.780	85.16	15.46
1.110	16.08	1.820	1.335	43.62	5.938	1.560	65.59	10.43	1.785	85.74	15.61
1.115	16.76	1.905	1.340	44.17	6.035	1.565	66.03	10.54	1.790	86.35	15.76
1.120	17.43	1.990	1.345	44.72	6.132	1.570	66.47	10.64	1.795	86.99	15.92
1.125	18.09	2.075	1.350	45.26	6.229	1.575	66.91	10.74	1.800	87.69	16.09
1.130	18.76	2.161	1.355	45.80	6.327	1.580	67.35	10.85	1.805	88.43	16.27
1.135	19.42	2.247	1.360	46.33	6.424	1.585	67.79	10.96	1.810	89.23	16.47
1.140	20.08	2.334	1.365	46.86	6.522	1.590	68.23	11.06	1.815	90.12	16.68
1.145	20.73	2.420	1.370	47.39	6.620	1.595	68.66	11.16	1.820	91.11	16.91
1.150	21.38	2.507	1.375	47.92	6.718	1.600	69.09	11.27	1.821	91.33	16.96
1.155	22.03	2.594	1.380	48.45	6.817	1.605	69.53	11.38	1.822	91.56	17.01
1.160	22.67	2.681	1.385	48.97	6.915	1.610	69.96	11.48	1.823	91.78	17.06
1.165	23.31	2.768	1.390	49.48	7.012	1.615	70.39	11.59	1.824	92.00	17.11
1.170	23.95	2.857	1.395	49.99	7.110	1.620	70.82	11.70	1.825	92.25	17.17
1.175	24.58	2.945	1.400	50.50	7.208	1.625	71.25	11.80	1.826	92.51	17.22
1.180	25.21	3.033	1.405	51.01	7.307	1.630	71.67	11.91	1.827	92.77	17.28
1.185	25.84	3.122	1.410	51.52	7.406	1.635	72.09	12.02	1.828	93.03	17.34
1.190	26.47	3.211	1.415	52.02	7.505	1.640	72.52	12.13	1.829	93.33	17.40
1.195	27.10	3.302	1.420	52.51	7.603	1.645	72.95	12.24	1.830	93.64	17.47
1.200	27.72	3.302	1.425	53.01	7.702	1.650	73.37	12.43	1.831	93.94	17.54
1.205	28.33	3.481	1.430	53.50	7.801	1.655	73.80	12.45	1.832	94.32	17.62
1.210	28.95	3.572	1.435	54.00	7.901	1.660	74.22	12.56	1.833	94.72	17.70
1.215	29.57	3.663	1.440	54.49	8.000	1.665	74.64	12.67			
1.220	30.18	3.754	1.445	54.97	8.099	1.670	75.07	12.78			



**Abbildung 26: Berücksichtigung der Abtropfzeit**

Der Faktor für die Austauschgeschwindigkeit ist aus Abbildung 27 zu entnehmen.



**Abbildung 27: Berücksichtigung der Austauschgeschwindigkeit**

Als grobe Näherung werden in den europäischen BREF-notes Anhaltswerte nach Tabelle 14 für die Ausschleppung, sowie nach Tabelle 15 für Austauschgeschwindigkeit und Abtropfzeiten angegeben.

**Tabelle 14: Anhaltswerte für die Ausschleppung**

Form der Oberfläche	Ausschleppung
Flache Oberfläche	100 ml/m <sup>2</sup>
Profilierte Oberfläche	200 ml/m <sup>2</sup>
Becherförmige Oberfläche	1.000 ml/m <sup>2</sup>

**Tabelle 15: Anhaltswerte für die Austauschgeschwindigkeit und Abtropfzeiten**

<b>Prozess</b>	<b>Minimale Austauschgeschwindigkeit</b>	<b>Minimale Abtropfzeit</b>
Galvanische Beschichtung	10 s	10 s
Entfetten und Beizen	8 s	7 s
Passivieren	10 s	10 s
Lacke	10 s	5 s

### **6.2.2 MÖGLICHKEITEN ZUR VERRINGERUNG DES AUSTRAGS VON PROZESSBADINHALTSSTOFFEN**

Maßnahmen zur Minimierung von Ausschleppverlusten setzen an der Quelle an und tragen wirkungsvoll zur Reduzierung der abfallrelevanten Stoffströme bei. Wird der Austrag der Prozessbadinhaltsstoffe in die nachfolgenden Spülen reduziert, wirkt sich dies sowohl durch die Verringerung der nötigen Spülwassermenge und durch die Reduktion der Schadstofffracht im zu behandelnden Prozesswasser positiv auf die Abfall- und Abwassersituation eines Galvanikbetriebes aus:

- Die nötige Spülwassermenge wird reduziert, da die Reinheitsanforderungen an die Werkstücke nach dem Spülen konstant sind, die Verschmutzung (= Ausschleppung) vor dem Spülen jedoch kleiner wird. Also muss mit weniger Spülwasservolumen gereinigt werden, um den nötigen Reinheitsgrad zu erzielen.
- Die Fracht an abfallrelevanten Stoffen im Prozesswasser wird reduziert, da insgesamt weniger von diesen Stoffen aus den Bädern ausgeschleppt wird.

Eine weitere positive Auswirkung dieser Art von Maßnahmen ist der geringere Chemikalienbedarf zum "Nachschärfen" der Bäder und vor allem für die Abwasserbehandlung. In der praktischen Anwendung stoßen Maßnahmen zur Minimierung der Ausschleppverluste allerdings schnell an Grenzen. Dies liegt u.a. daran, dass sich in den Prozessbädern im Laufe der Zeit Störstoffe ansammeln. Diese gelangen zum Teil mit der durchgesetzten Ware in das Bad, zum Teil handelt es sich um Reaktionsprodukte der eingesetzten Chemikalien. Wird ein Teil der Prozessbadlösung kontinuierlich verschleppt, werden dadurch auch die Störstoffe ausgetragen. Vor allem, wenn die Niveauregulierung des Prozessbades mittels Frischwasser erfolgt, findet dadurch eine ständige "Verjüngung" der Prozessbadlösung statt. Ist diese Verjüngung für den Prozess notwendig, setzen Maßnahmen zur Minimierung der Ausschleppverluste aus dem jeweiligen Bad zunächst badreinigende Maßnahmen (Badpflegemaßnahmen) voraus (siehe Kapitel 6.4).

Die Tabelle 16 fasst die wesentlichen Maßnahmen zur Verringerung des Austrags von Prozessbadinhaltsstoffen zusammen<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Galvanik in Rheinland-Pfalz, Informationen für den Galvanikbetrieb zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen und Abfällen, Mainz 1996

**Tabelle 16: Maßnahmenkatalog zur Verringerung des Austrags von Prozessbadinhaltsstoffen**

<b>Maßnahme/Technik: Verlängerung der Abtropfzeiten über dem Prozessbad</b>	
Prinzip:	die Erhöhung der Abtropfzeiten verringert die am Werkstück anhaftende Prozesswassermenge
Kommentar:	prinzipiell immer durchführbar, jedoch Begrenzung durch Taktzeiten etc. es sind Abtropfzeiten > 10 s bei Gestellen und > 30 s bei Trommeln anzustreben
<b>Maßnahme/Technik: Verringerung der Aushebegeschwindigkeit</b>	
Prinzip:	die Senkung der Aushebegeschwindigkeit erhöht die Ablaufzeit und führt zu einem dünneren anhaftenden Film auf den Werkstücken
Kommentar:	prinzipiell immer durchführbar, jedoch Begrenzung durch Taktzeiten etc.
<b>Maßnahme/Technik: Montage von Rücklaufflächen zur Rückführung von Tröpfelverlusten</b>	
Prinzip:	Rücklaufflächen mit Neigung entgegen der Transportrichtung der Werkstücke führen während des Transportes abtropfende Prozessbadlösung in das entsprechende Bad zurück
Kommentar:	muss beim Bau einer Galvanisierlinie berücksichtigt werden, Nachrüsten einer bestehenden Anlage nur unter Umständen möglich
<b>Maßnahme/Technik: Optimierung der Gestellgeometrie, speziell: Vermeidung von horizontalen Verstrebungen</b>	
Prinzip:	Gestelle sollen so konstruiert sein, dass waagrechte oder gar schöpfende Flächen seitens der Werkstücke möglichst vermieden werden; gleichzeitig sollen horizontale Verstrebungen auf das notwendige Minimum reduziert werden
Kommentar:	Verstrebungen sollen Neigungen von 15 – 30 ° aufweisen
<b>Maßnahme/Technik: Kontrolle auf defekte Gestellisolierungen sowie der Perforation von Trommeln</b>	
Kommentar:	ist die Isolation bei Gestellen defekt, führt dies zu einer Metallabscheidung auf den Fehlstellen; das abgeschiedene Metall wird dann in nachfolgende Bäder verschleppt; ähnliches gilt für das Zuwachsen der Perforation bei Trommeln
<b>Maßnahme/Technik: Spülen, Abblasen oder Absaugen der Ware über dem Prozessbad</b>	
Prinzip:	Reduzierung des anhaftenden Prozesswasserfilms und damit der Verschleppung
Kommentar:	über die Anwendung ist im Einzelfall zu entscheiden, auch Kombinationen möglich: zB Spülen und Abblasen bei Trommeln oder Gestellen, Spülen über dem Bad nur bei warm arbeitenden Bädern möglich

## 6.3 SPÜLPROZESSE

### 6.3.1 BERECHNUNG DER SPÜLPROZESSE

Das Spülen hat die Aufgabe, die Elektrolytkonzentration im Oberflächenfilm der Ware soweit zu verdünnen, dass die nachfolgenden Prozesse nicht beeinträchtigt werden. Spülprozesse sind so zu gestalten, dass eine ausreichende Spülqualität bei möglichst geringem Frischwasserverbrauch erreicht wird. Um diesem Ziel gerecht zu werden, sollte die erforderliche Spülwassermenge und Qualität einer Berechnung zugänglich gemacht werden, so dass Vorhersagen über das Spülergebnis gemacht und der Spülprozess optimiert werden kann.

Um einen Spülprozess zu charakterisieren, wird ein dimensionsloses Spülkriterium eingeführt. Das Spülkriterium  $R$  ist der Quotient aus der eingeschleppten Wirkstoffkonzentrationen  $c_0$ , also der Badkonzentration, und der nach dem Spülen zu erreichenden Endkonzentration  $c_n$ :

$$R = c_0 / c_n$$

Die folgende Tabelle 17 bietet eine Übersicht über Spülkriterien. Sie wurde von den Autoren dieses Forschungsberichtes aus verschiedenen Publikationen und persönlichen Mitteilungen zusammengetragen.

**Tabelle 17: Spülkriterien für verschiedene galvanische Prozesse**

Galvanischer Prozess	Geforderte Spülkriterien
Heißentfetten	35 - 100
Elektrolytische Entfettung	100 - 200
Dekapieren, Beizen	100 - 200
Beizen von Aluminium	500 - 1.000
Anodisieren	2.000 - 4.000
Verkupfern, Verzinken, Verzinnen	1.000 - 5.000
Brünieren, Phosphatieren, Chromatieren	2.000 - 5.000
Vernickeln	3.000 - 10.000
Verchromen	10.000 - 100.000
Elektrolytisch Beizen und Polieren	100.000 - 1.000.000

Die Regelung der Spülwassermenge erfolgt praktisch über die Messung der Leitfähigkeit des ablaufenden Spülwassers. Die Abbildung 28 zeigt typische Bereiche von Leitfähigkeit industrieller Prozesswässer, die Abbildung 29 die typischen Bereiche der Leitfähigkeit von Spülwässern, die Abbildung 30 die Leitfähigkeit verdünnter wässriger Lösungen verschiedener Säuren und Laugen.

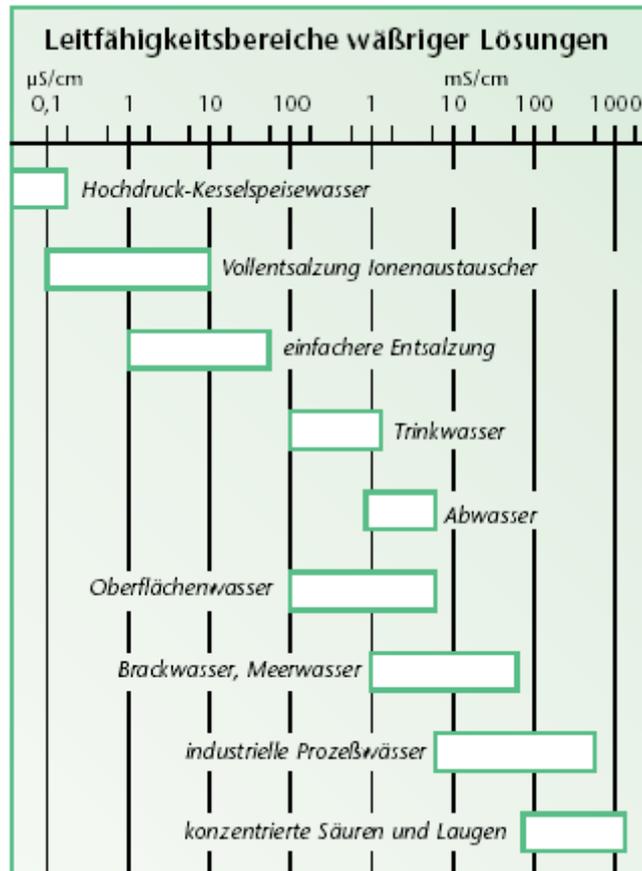


Abbildung 28: Leitfähigkeitsbereich verschiedener wässriger Lösungen<sup>22</sup>

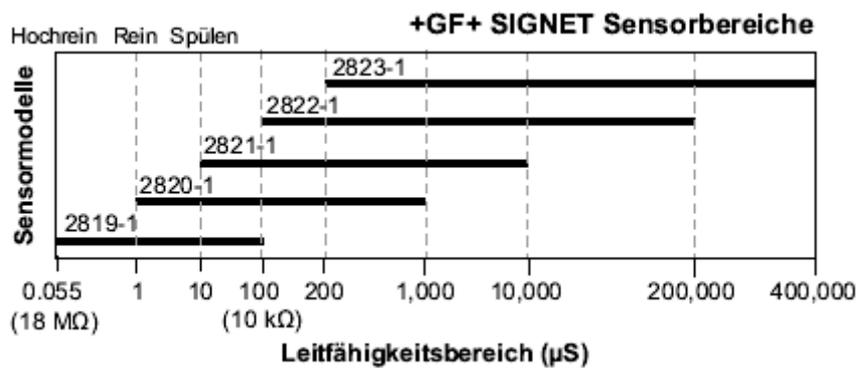
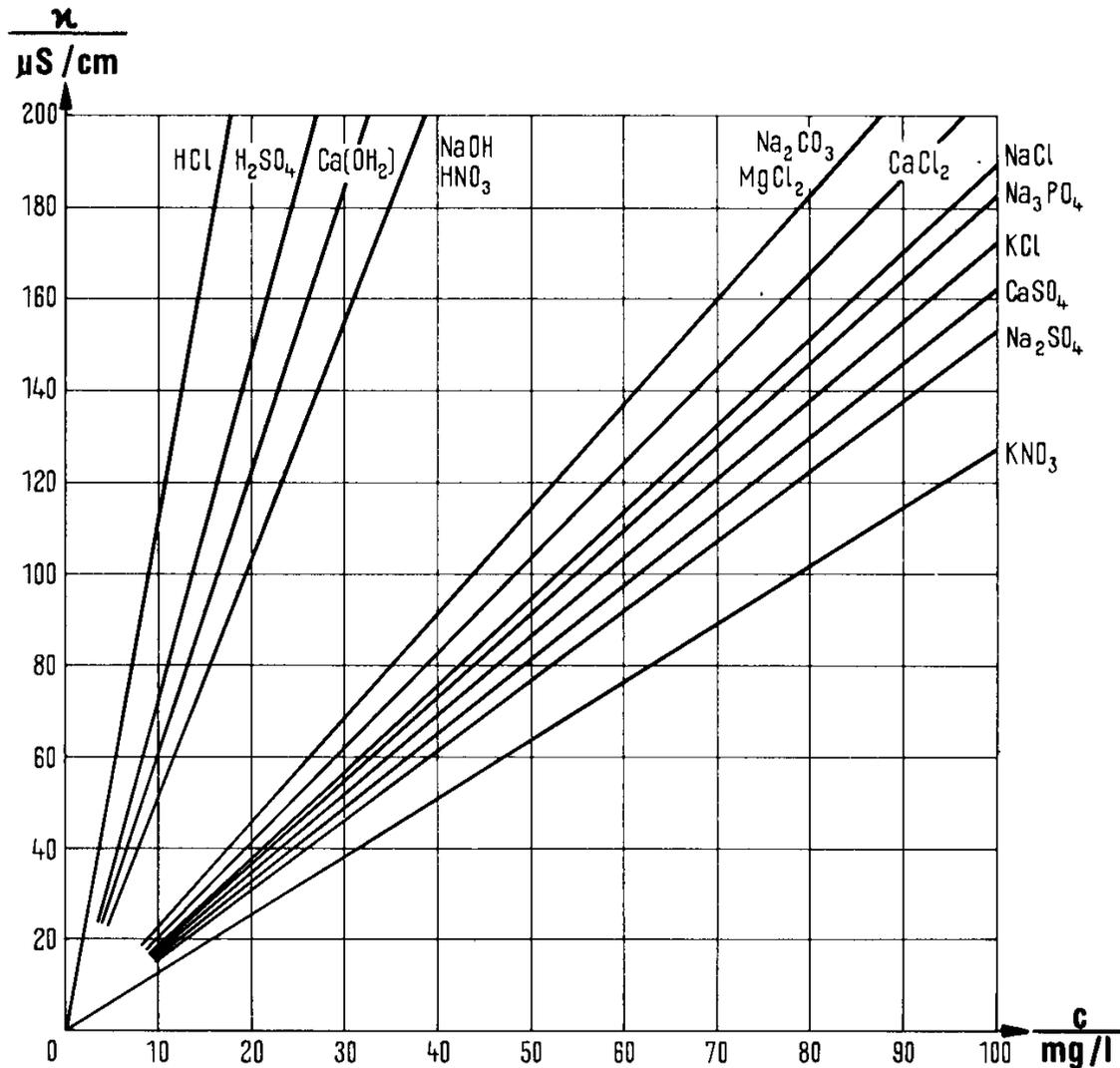


Abbildung 29: Leitfähigkeitsbereiche von Spülwässern<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Produktbeschreibung Online Leitfähigkeitsmessungen, WTW, 2002

<sup>23</sup> Produktbeschreibung von GF-Signet-8850 Leitfähigkeitstransmitter, 2002



**Abbildung 30: Leitfähigkeit verschiedener verdünnter Säuren und Laugen<sup>24</sup>**

Als Faustregel für die Konzentration im letzten Spülwasser wird von Nagy der Wert von 1 g/l an Prozesslösung angegeben.<sup>25</sup>

Mit der Kennzahl des Spülkriteriums ist es nun möglich, für ein bestimmtes Volumen  $V_E$  an eingeschleppter Reinigungslösung das für die Spülung erforderliche Wasservolumen  $V_S$  zu berechnen. Werden diese Volumina auf die Zeit bezogen, so ergeben sich die entsprechenden Volumenströme des Abwassers und des Frischwassers.

Ein einstufiger Spülprozess ist relativ einfach zu berechnen. Die erforderliche Wassermenge (in [l]) ergibt sich als das Produkt von Warendurchsatz (angegeben in [m<sup>2</sup>] Oberfläche), verschleppter Prozesslösung (angegeben als [l/m<sup>2</sup>]) und dem Spülkriterium.

<sup>24</sup> Leitfähigkeitsfibel, WTW, 2002

<sup>25</sup> The Analysis and Design of Rinsing Installations, Richard A. Nagy, PFOonline

Um diese Spültechnik zu verbessern und die für den nachfolgenden Prozess notwendige Verdünnung mit einer geringeren Menge an Frischwasser zu erreichen, kann man folgende Techniken einsetzen:

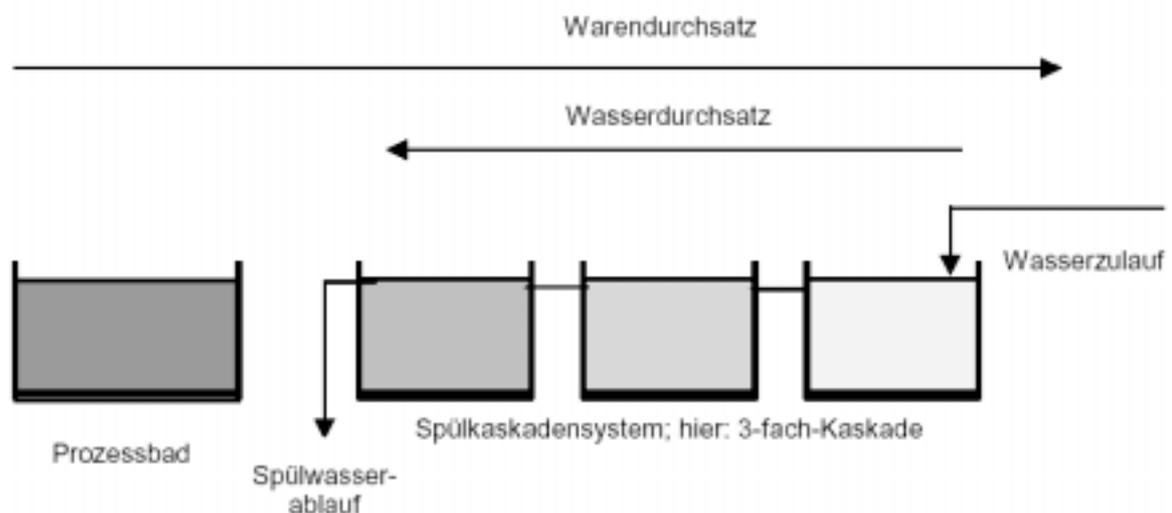
- Kaskadenspülung
- Spritzspülen
- Mehrfachnutzung des Spülwassers durch Kreislaufführung

Bei der Berechnung mehrstufiger Spülprozesse müssen Prozesse ohne und mit Spülwasserkaskade unterschieden werden.

Die erforderliche Wassermenge (in [l]) ergibt sich als das Produkt von Warendurchsatz (angegeben in [m<sup>2</sup>] Oberfläche), verschleppter Prozesslösung (angegeben als [l/m<sup>2</sup>]) und der n-ten Wurzel aus dem Spülkriterium. N ist die Anzahl der Stufen der Kaskade.

In internationalen Regelwerken ist die mehrstufige Spültechnik mit 3 Spülstufen als Stand der Technik definiert.

Zur Chemikalienrückgewinnung bewährt sich auch das Vorschalten einer Standspüle vor einer dreistufigen Spülkaskade. Eine einfache Chemikalienrückführung lässt sich durch Vortaucen in dieser Standspüle erreichen. Nachteilig ist anzumerken, dass diese Anordnung zusätzlichen Platz benötigt und einen zusätzlichen Arbeitsschritt verursacht.



**Abbildung 31: mehrstufige Spültechnik (Kaskadentechnik)**

**Tabelle 18: Spezifische Spülwassermenge (Liter Spülwasser pro Liter ausgeschlepptem Elektrolyt) in Abhängigkeit vom vorgegebenen Spülkriterium und der Kaskadenanzahl**

Spülkriterium	10.000	5.000	1.000	200
Stufenzahl	Benötigte Spülwassermenge in [l/h]			
einstufig	10.000	5.000	1.000	200
zweistufig	100	71	32	14
dreistufig	22	17	10	6
vierstufig	10	8	6	4
fünfstufig	6	5	4	3

**Tabelle 19: Vergleich des Spülwasserbedarfs verschiedener Spülkombinationen**

	Spülkombination	relativer Spülwasser- verbrauch
<b>Referenzzustand</b>	<b>1 Fließspüle</b>	<b>100 %</b>
Vergleichszustände	1 Standspüle + 1 Fließspüle	60 %
	2er-Kaskade	1 %
	1 Standspüle + 2er-Kaskade	0,6 %
	3er-Kaskade	0,2 %

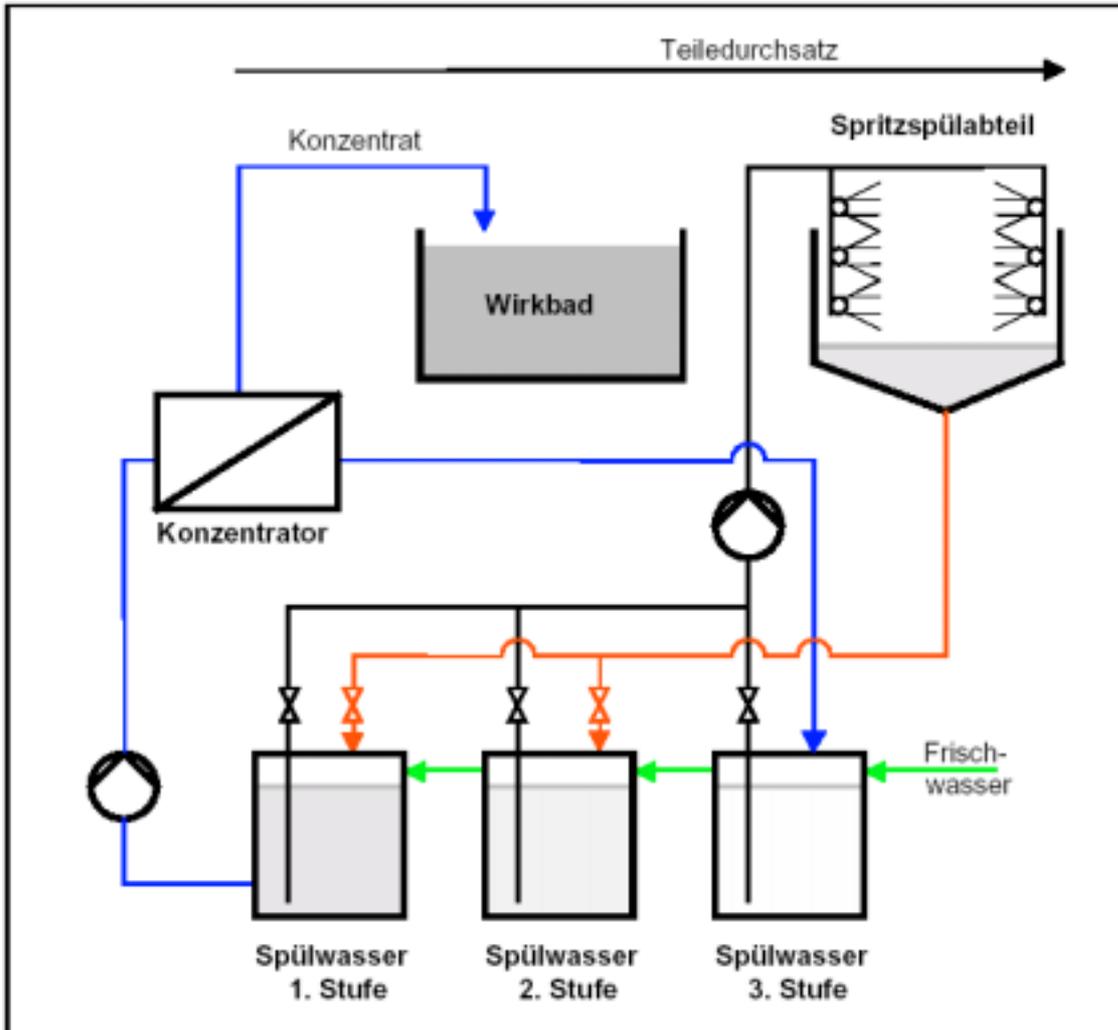
Tabelle 19 beinhaltet für verschiedene Spülkombinationen den relativen Spülwasserverbrauch. Referenzzustand mit einem Spülwasserbedarf von 100 % ist hier eine einzige Fließspüle hinter einem beliebigen Elektrolyten. Für die Berechnung wurde eine Metallkonzentration von 50 g/l im Elektrolyten und eine Maximalkonzentration von 20 g/l in der Standspüle zugrunde gelegt. Als Spülkriterium wurde 10.000 angenommen.

Die Berechnungen zeigen, dass im Vergleich zu einer Fließspüle schon eine 2er-Kaskade ausreicht, um bei ansonsten gleichen Prozessbedingungen den Spülwasserverbrauch auf 1 % des Ausgangswertes zu reduzieren.

Dies gilt für den Regelfall: in Ausnahmefällen, wie zB dem Beizen, Brennen, Glänzen oder Chromatieren muss die Werkstückoberfläche rasch von der anhaftenden Prozesslösung befreit werden, so dass andere Spültechniken zum Einsatz kommen.

Die dreistufige Spültechnik erfordert eine vergrößerte Aufstellungsfläche der Anlage. Bei vorhandenen Anlagen ist die Unterbringung einer größeren Anzahl an Behältern innerhalb der Fertigung sehr oft aus Platzgründen nicht möglich.

In solchen Fällen kann geprüft werden, ob der Einsatz sogenannter externer Kaskaden möglich ist. In der Behandlungslinie befindet sich pro Prozessschritt lediglich ein Spülbehälter, der mit mehreren extern aufgestellten Vorratsbehältern verbunden ist, die als Spülstufen nach dem Kaskadenprinzip fungieren. Das Werkstück wird in den Spülbehälter eingefahren und dann nacheinander mit dem Wasser aus den einzelnen Spülstufen abgespritzt oder mit den verschiedenen Wasserqualitäten geflutet. Der Ablauf des Vorratsbehälters geringerer Spülwasserkonzentration erfolgt dann schrittweise in den Behälter der nächsthöheren Konzentration.



**Abbildung 32: Spritzspülsystem: Einzelabteil mit externer Kaskadenführung und Konzentrat-Rückführung**

Spritzspültechniken, die mit einer Spülwassermenge von 10 - 30 l/m<sup>2</sup> durchgesetzten Materials auskommen, gehören ebenso wie die Kaskadenspültechnik zu den wassersparenden Spültechniken, sind im praktischen Einsatz jedoch limitiert. Die Anwendung dieser Technik beschränkt sich auf das Spritzspülen von ebenen Teilen, wie zB Blechen oder Leiterplatten. Unregelmäßige Oberflächen können durch Spritzspülen nur unvollständig gereinigt werden.

Die in einer Spritzspüle notwendige Wassermenge kann nach folgender Gleichung als Vielfaches V einer empirisch bestimmten Minimalmenge berechnet werden.<sup>26</sup>

$$V = 2.3(2 - \log C)$$

where V = the volume of water required  
C = the percentage of the original concentration

**Abbildung 33: Berechnung des Wasserverbrauchs einer Spritzspüle**

<sup>26</sup> Spray Rinsing, J. B. Mohler, Metal finishing, January 1975, pp 29

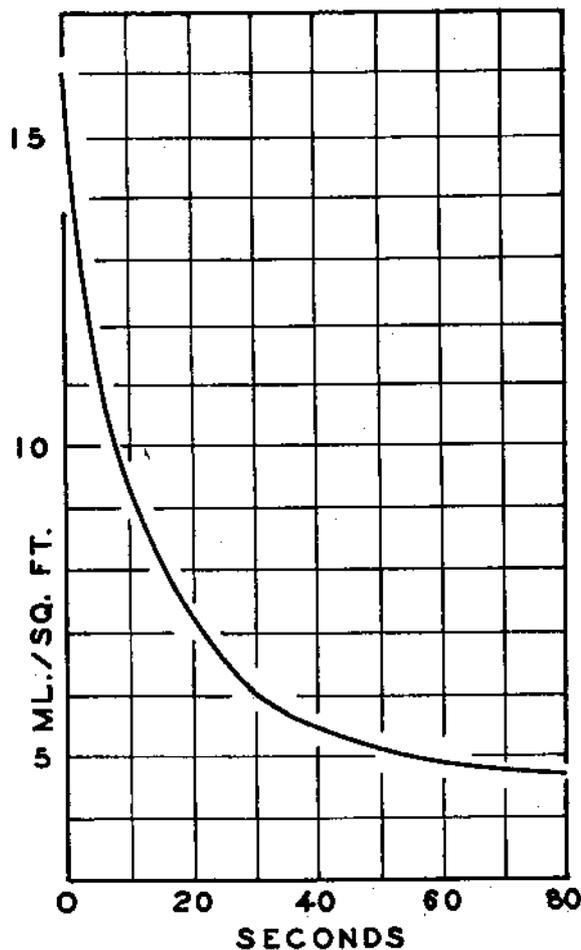


Fig. 4. Natural draining curve for small irregularly shaped parts.

### Abbildung 34: Vergleichsvolumen für kleine, unregelmäßig geformte Teile

Der Autor hat berechnet, dass eine Spritzspüle bei gleichem Spülkriterium im Wasserverbrauch in etwa einer 2,5-stufigen Spülkaskade entspricht.

Spritzspülkränze, die während des Ein- und Ausfahrens eingeschaltet werden, können auch auf Spülen aufgesetzt werden. Ihre Effektivität kann der einer halben Kaskadenstufe gleichgesetzt werden.

Besonders effizient sind Spüleinrichtungen, bei denen zur Entfernung der Prozesslösung gerade so viel Wasser eingesetzt wird, wie an Verdunstungs- und Ausschleppungsverlusten verloren geht (Ausgleich der Wasserbilanz). In einem solchen Verbund kann ein nahezu abwasserfreies System geschaffen werden, sieht man von begrenzter Standzeit der Prozesslösungen oder vom Abwasseranfall bei Reinigungs- und Pflegearbeiten ab.

Die ausgeglichene Wasserbilanz stellt das entscheidende Kriterium der Spültechnik für einen emissionsarmen Oberflächenprozess dar. Möglichkeiten zum Ausgleich der Wasserbilanz bieten insbesondere warm betriebene Prozesslösungen.

Durch die Einführung mehrstufiger Spülssysteme, die teilweise mit einer Spülwasser-Kreislaufführung kombiniert wurden, können Verringerungen des Abwasseranfalls um bis zu 90 % erzielt werden.

### 6.3.2 MÖGLICHKEITEN ZUR REDUKTION DES FRISCHWASSERBEDARFS BEIM SPÜLEN

**Tabelle 20: Maßnahmenkatalog zur Verringerung des Frischwasserbedarfs beim Spülen**

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Steuerung/Regelung der Spülwassermenge</b>
Prinzip:	manuell: stufenweises Reduzieren des Frischwasserzulaufes bis auf das notwendige Maß automatisch: Regelung durch Leitfähigkeitsmessung
Kommentar:	- vor allem die manuelle Steuerung/Regelung ist ein sehr preiswertes und gleichzeitig effektives Verfahren zur Spülwasserreduzierung
<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Erzeugung von Turbulenzen im Bad</b>
Prinzip:	durch das Bewegen der Ware im Spülbad oder durch Einblasen von Luft werden Turbulenzen erzeugt, die zu einer besseren und vor allem schnelleren Verdünnung des anhaftenden Films an der Ware führen
Kommentar:	- Der Spülvorgang wird effektiver
<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Einsatz wassersparender Spültechniken</b>
Prinzip:	<i>Spritzspültechnik:</i> durch die aufzubringende kinetische Energie ist der Spülprozess sehr effektiv <i>Kaskadenspültechnik:</i> durch die Mehrfachnutzung des Spülwassers geringer Spülwasserverbrauch
Kommentar:	- Spritzspültechniken kommen in der Praxis nur selten zum Einsatz, da sie nur bei großflächigen, gleichmäßigen Oberflächen angewandt werden können - Umbau von Einfachfließspüle auf 2er- oder 3er-Kaskade, am besten mit vorgeschalteter Standspüle zur Chemikalienrückgewinnung

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Kreislaufführung von Spülwasser über Ionentauscher</b>
Prinzip:	die Inhaltsstoffe des Spülwassers werden im Ionentauscher zurückgehalten: man erhält "sauberes" Spülwasser
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- öl- und fetthaltige Spülwässer können zu einer Beeinträchtigung der Funktion führen</li> <li>- durch eine Kreislaufführung kann auf Kaskadenspülung verzichtet werden</li> <li>- bei der Regeneration der Ionenaustauscher fallen Eluate an (ca. 0,2 - 1 % des durchgesetzten Spülwassers), die zB bei einer Teilstrombehandlung einer Wertstoffrückgewinnung zugeführt werden können</li> <li>- das Regenerat ist - sofern eine ordnungsgemäße Behandlung im Betrieb nicht möglich ist - als Konzentrat zu entsorgen</li> <li>- durch die Mitbehandlung des Regenerats wird die Neutralsalzfracht des Abwassers erhöht</li> </ul>

Anhand der Angaben in Tabelle 20 können Ansatzpunkte zur Optimierung ausgearbeitet werden. Wenn die berechneten Spülwassermengen von den gemessenen deutlich abweichen, sollten Maßnahmen zur Durchmischung der Becken oder zur Regelung des Wasserdurchsatzes erwogen werden. Durch den Einsatz von Spritzspülen, Kaskaden oder Ionentauschern lassen sich Anlagenkonfigurationen mit niedrigerem Frischwasser bilden.

Generell ist die Installation mehrstufiger Spültechniken mit höherem Platzbedarf und höheren Investitionen (Kosten für zusätzliche Behälter, Transporteinrichtungen und Steuerung) verbunden.

Die Verringerung des Wasserverbrauchs, der geringere Abwasseranfall, der wiederum eine deutlich kleinere Abwasseraufbereitungsanlage erfordert, verringert jedoch die Gesamtkosten, so dass in der Gesamtbilanzierung die mehrstufige Spültechnik oftmals die wirtschaftlichere ist. Die Betrachtung ökonomischer Rahmengrößen muss jedoch im Einzelfall durchgeführt werden, da sich die Einsatzfälle sehr unterschiedlich darstellen.

Durch wassersparende Spültechniken wird die Menge des zu behandelnden Prozesswassers verringert. Auf die Verschleppung aus den Prozessbädern in die Abwasserbehandlung hat eine solche Spültechnik jedoch keinen Einfluss.

## **6.4 BADPFLEGEMAßNAHMEN**

### **6.4.1 BERECHNUNG DER BADSTANDZEITEN**

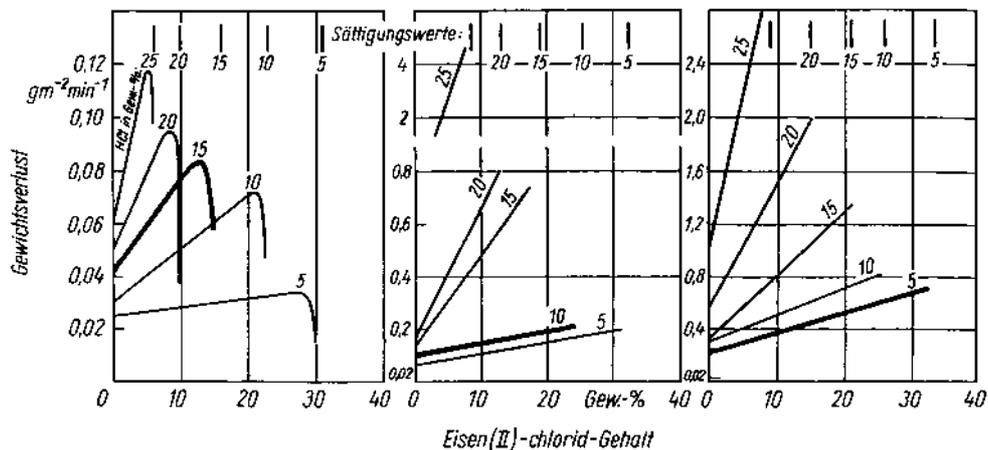
Zu den Badpflegemaßnahmen gehören alle Verfahren/Techniken, die zu einer Verlängerung der Standzeit der einzelnen Bäder führen. An erster Stelle ist hier die analytische Kontrolle der Badzusammensetzung zu nennen.

Wie die Untersuchungen in Österreich, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg bestätigt haben, besteht ein Zusammenhang zwischen dem Umfang der analytischen Kontrolle der Bäder und der Standzeit, dh je besser und umfangreicher die Zusammensetzung der Prozessbäder durch entsprechende Analyseverfahren bestimmt wird, umso zielgerichteter können Chemikalien nachdosiert werden, was zu einer Erhöhung der Standzeiten führt. Diese Erhöhung der Standzeiten wirkt sich äußerst positiv auf die Schadstofffracht im zu behandelnden Prozesswasser und damit auch auf die Menge an benötigten Abwasserbehandlungschemikalien aus. Darüber hinaus entsteht ein Kostenvorteil durch das Vermeiden von Überdosierungen beim Nachschärfen der Bäder und der hierdurch erzielbaren Einsparung an Badzusätzen.

Die größten Mengen an Metallionen, die aus Prozessbädern entfernt werden müssen, lösen sich aus Beizen. Es muss daher ein Optimierungsziel sein, den Metallabtrag bei der Reinigung der Oberflächen von zB Zunder oder Oxiden möglichst niedrig zu halten.<sup>27</sup>

**Tabelle 21: Richtwerte für Abtragsraten von Metallen in verschiedenen Beizlösungen<sup>28</sup>**

Elektrolyt	Abtragsrate
Eisenchloridlösung 40 %	Kupfer 35 µm/min
Eisenchloridlösung 40 %	Eisen 20 µm/min
Natronlauge (E6 Beize)	Aluminium 200 – 500 g/m <sup>2</sup> h
Salzsäure	Eisen (siehe Abbildung 35)



**Abbildung 35: Ätzabtrag von Eisen in Abhängigkeit der Zusammensetzung der Salzsäurebeize**

- a) Badtemperatur 20 °C
- b) Badtemperatur 40 °C
- c) Badtemperatur 60 °C

<sup>27</sup> The Whys and Hows of sulfuric acid pickling and recovery, Esco Engineering, Februar 1995

<sup>28</sup> Daten aus den Archiven der Projektpartner

Die Art und Intensität der Verzunderung lässt sich vom Oberflächentechnikbetrieb schwer beeinflussen. Eventuell können vorgebeizte Bleche oder Bleche mit bestimmter Oberflächenqualität verwendet werden.

Folgende Richtlinien lassen sich ableiten, um den Metallabtrag in Beizen zu optimieren:

- Optimierte Abtragsraten können durch eine möglichst gute Durchmischung der Beizen erzielt werden.
- Das Metall soll nicht länger als notwendig in der Beize belassen werden.
- Die Beiztemperatur sollte so niedrig wie möglich gewählt werden.

Eine weitere Möglichkeit der Minimierung des Metallabtrages in Beizen besteht durch die Anwendung von Inhibitoren. Die Auswahl von Inhibitoren muss empirisch erfolgen, da verschiedenste Typen von verschiedenen Lieferanten im Handel erhältlich sind. Verschiedene Autoren verweisen auf die Vorzüge von organischen Inhibitoren<sup>29</sup>. Die Menge der zugesetzten Inhibitoren muss empirisch optimiert werden.

#### 6.4.2 MAßNAHMEN ZUR BADPFLEGE

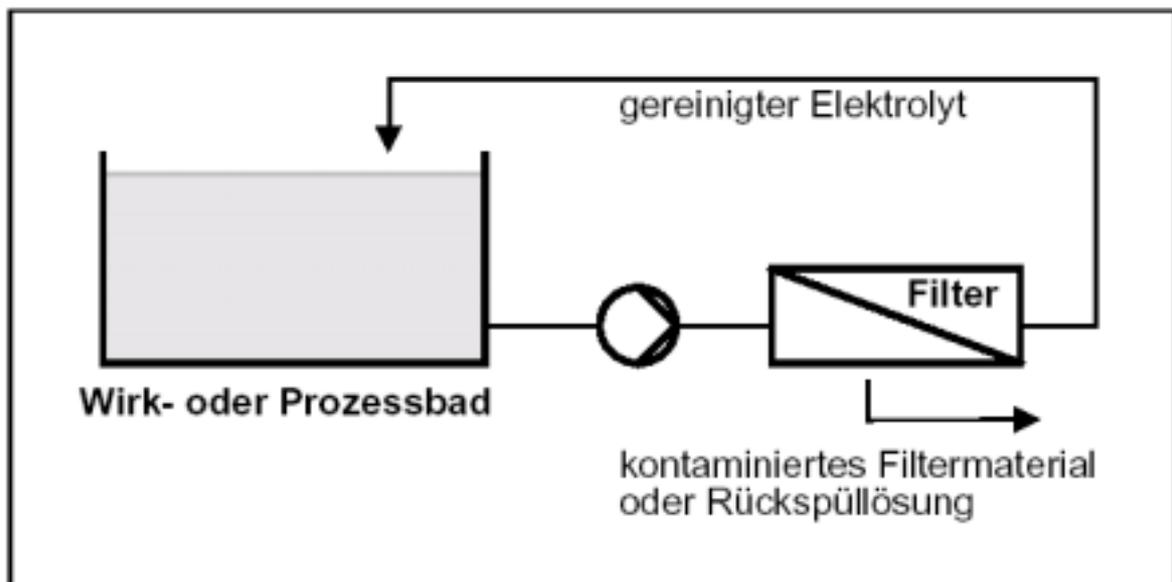


Abbildung 36: Filtration von Prozesslösungen

Eine weitverbreitete und kostengünstige Maßnahme zur Badpflege stellt die Filtration von Prozesslösungen dar. Filter aus verschiedenen Materialien stehen zur Verfügung, um Feststoffe, und teilweise auch Fette und Öle aus Prozessbädern zu entfernen.

<sup>29</sup> The Whys and Hows of Hydrochloric acid pickling, Esco Engineering, August 1998

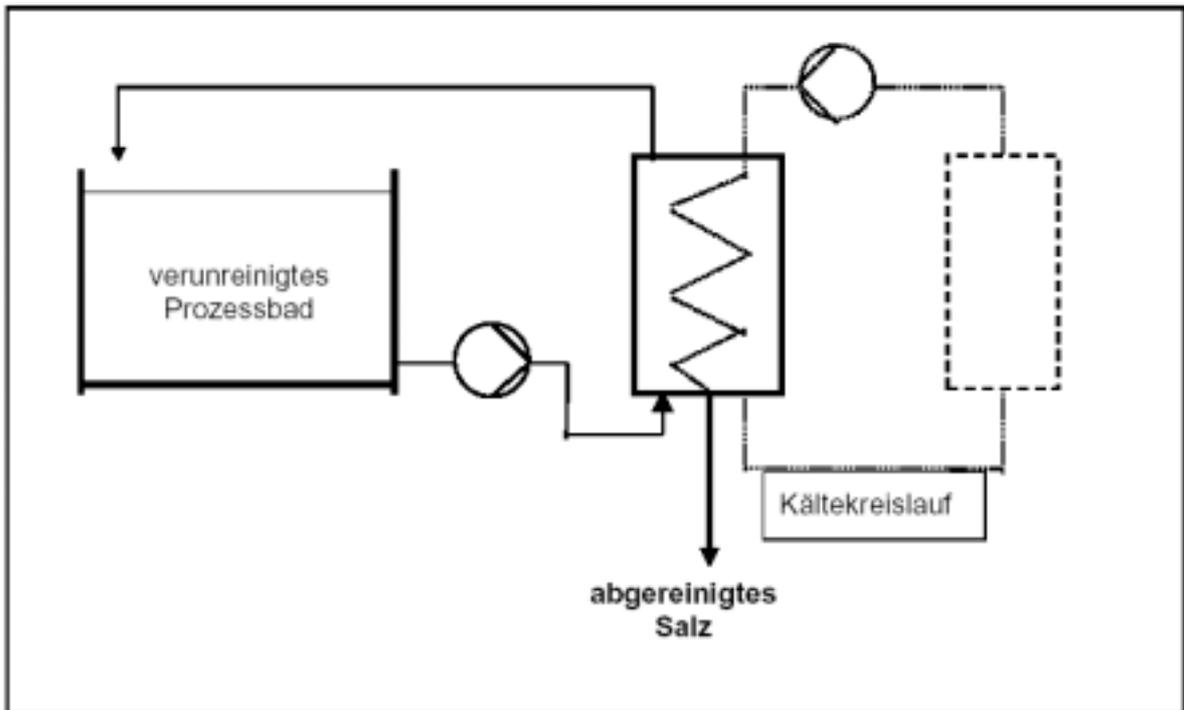


Abbildung 37: Funktionsprinzip einer Kristallisation

Manche Salze kristallisieren durch Kühlung genügend aus, um so Prozessbäder regenerieren zu können. Kristallisation findet zB Anwendung zur Regeneration von schwefelsauren Eisenbeizen.

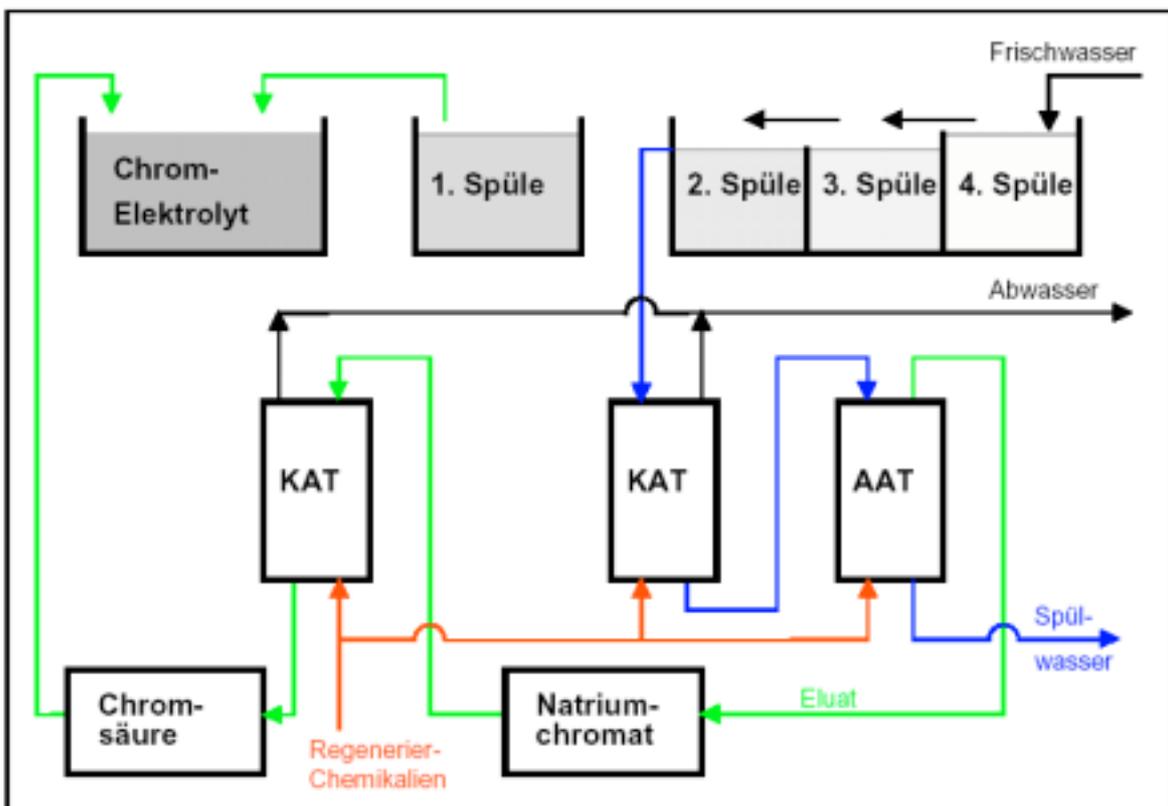


Abbildung 38: Chromsäurerückgewinnung mit Ionentauschern zur Reinigung von störenden Kationen

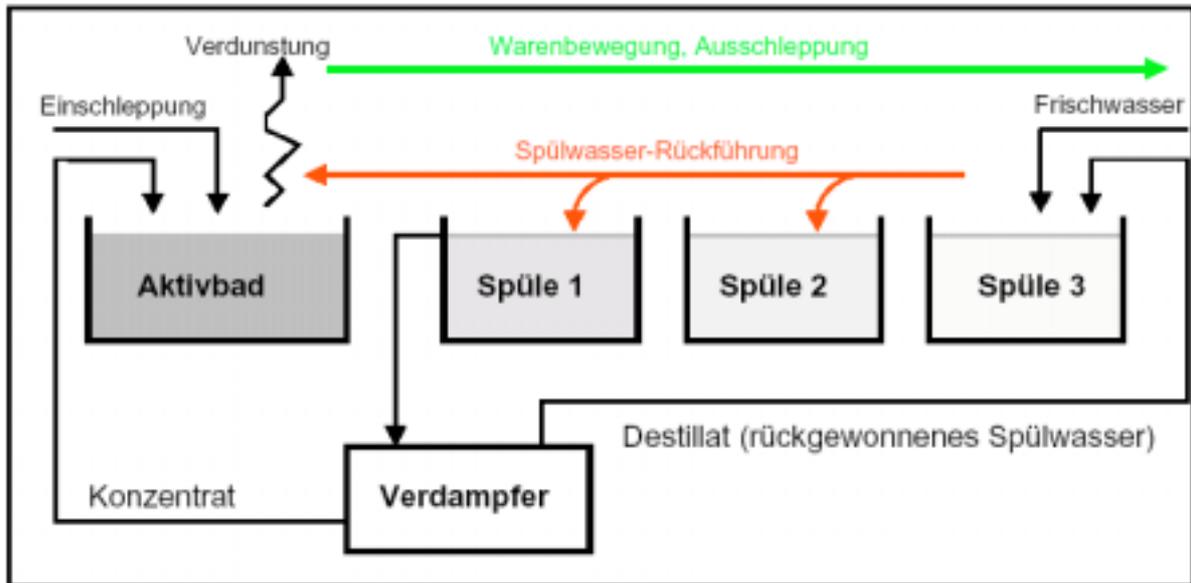


Abbildung 39: Prinzipschema eines Verdampfers

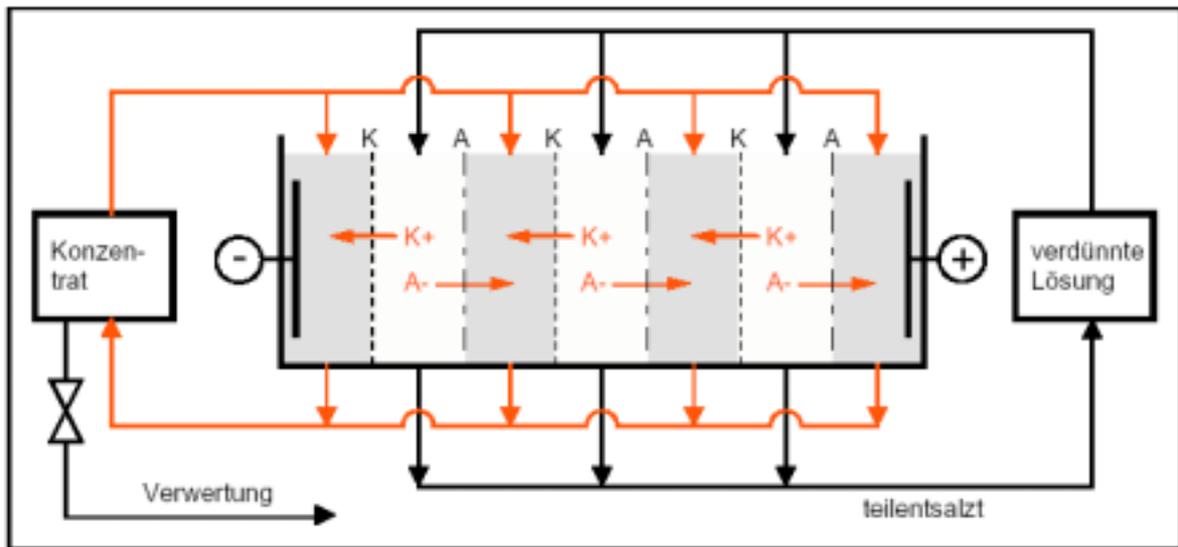


Abbildung 40: Funktionsprinzip der Elektrodialyse

Tabelle 22 gibt einen Überblick über mögliche Maßnahmen zur Badpflege.

**Tabelle 22: Maßnahmenkatalog zur Badpflege**

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Ionenaustauscher</b>
Prinzip:	bestimmte Inhaltsstoffe (Ionen) werden dem Prozesswasser entzogen und gegen gleichgeladene Ionen (H, OH) in äquivalenter Menge ausgetauscht
Kommentar:	- dient dem Entfernen von Störstoffen zur Regeneration, insbesondere von Chrom- und Chromatierelektrolyten sowie Phosphor- und Salzsäurebeizen

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Retardation</b>
Prinzip:	mit Hilfe eines Anionenaustauschers erfolgt eine weitgehende Trennung von Metall und Säure. Während die Metalle das Harz nahezu ungehindert verlassen, diffundiert die Säure in das Harzbett und tritt erst zeitverzögert wieder aus
Kommentar:	- wird verwendet zum Entfernen von Störstoffen zur Regeneration von Beizen, Mischbeizen, Ätzlösungen sowie Anodisierelektrolyten

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Kristallisation</b>
Prinzip:	Abkühlen der Lösung oder Einengen im Vakuum führt zu einer Auskristallisation von Salzen
Kommentar:	- Anwendungsbereiche: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abreicherung von Eisen aus schwefelsauren Beizen als Eisensulfat</li> <li>• Auskristallisation von Carbonaten (Soda) aus cyanidischen Elektrolyten</li> <li>• Entfernen von Störstoffen zur Regeneration von salzsauren Eisenbeizen und Mischsäurebeizen für Edelmehle</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- auskristallisiertes Eisensulfat kann u.U. verwertet werden</li> <li>- Carbonate sind mit Metallen und Cyaniden verunreinigt und sind daher Sonderabfall</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Ultrafiltration</b>
Prinzip:	Membrantrennverfahren, bei dem die Badinhaltsstoffe aufgrund ihrer unterschiedlichen Größe getrennt werden
Kommentar:	- anwendbar zum Entfernen von Ölen und Fetten zur Regeneration von alkalischen Reinigungslösungen (Entfettungsbäder)
	- Vorschaltung eines Ölabscheiders erforderlich (nur sinnvoll, wenn keine Emulsionen vorliegen)

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Elektrodialyse</b>
Prinzip:	Membrantrennverfahren, bei dem die Trennwirkung darauf beruht, dass die Membranen nur für bestimmte Moleküle durchlässig sind; treibende Kraft für die Trennung ist ein von außen angelegtes elektrisches Feld
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Abreicherung von Eisen aus schwefelsauren oder salzsauren Beizen und zum</li> <li>- Entfernen von Störstoffen zur Regeneration von Chromelektrolyten</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Elektrolyse (anodische Oxidation)</b>
Prinzip:	Migration geladener Teilchen unter Gleichstrom im elektrischen Feld mit Oxidation bestimmter Inhaltsstoffe an der Anode
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxidation von 3-wertigem Chrom zur Chromsäure zur Regeneration von Chromelektrolyten, chromsauren Ätzlösungen, Chrom-Schwefelsäure-Beizen und Chromsäure-Beizen</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Adsorption</b>
Prinzip:	Adsorption (Anreicherung) von Stoffen an diversen Adsorptionsmitteln, zumeist Aktivkohle
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entfernen von organischen Abbauprodukten zur Regeneration diverser Elektrolyte</li> <li>- speziell für Nickelelektrolyte: hier oft Kombination von adsorptiver Behandlung mit elektrolytischer Selektivreinigung</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Filtration</b>
Prinzip:	durch Filtration (im Idealfall kontinuierlich) werden grobe Verunreinigungen aus den Bädern entfernt
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfache Filtration für Metall- und Beizbäder</li> <li>- preisgünstig</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Ölabscheider</b>
Prinzip:	die leichtere Ölphase wird mechanisch entfernt
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- für nicht emulgierende Entfettungsbäder einsetzbar, sonst Emulsionsspaltung, zB Ultrafiltration notwendig</li> <li>- durch Ölabscheider werden die Verschleppungen von Ölen ins Spülwasser und damit letztlich in die Abwasserbehandlungsanlage deutlich verringert, was sich positiv auf die Organikfracht des Abwassers auswirkt, gleichzeitig wird die Entsorgungssicherheit für den zu deponierenden Galvanikschlamm erhöht, da auch dessen Organikanteil sinkt</li> </ul>

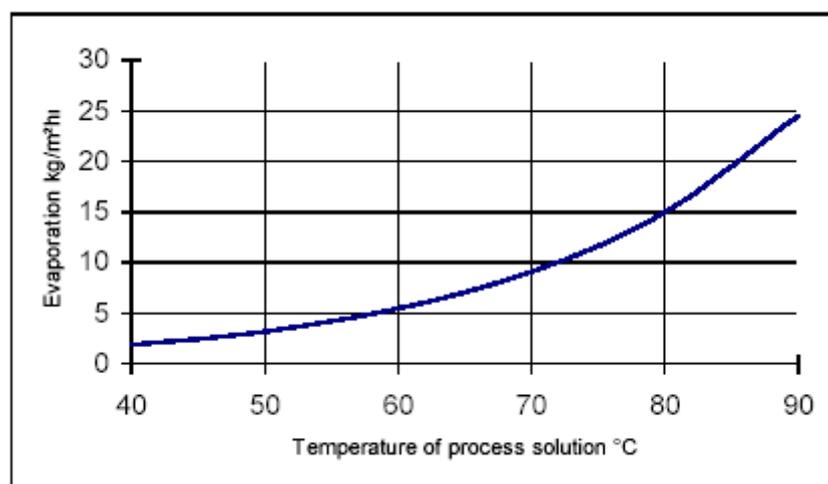
## 6.5 MÖGLICHKEITEN ZUR RÜCKFÜHRUNG ODER RÜCKGEWINNUNG VON BADINHALTSSTOFFEN

### 6.5.1 BERECHNUNG DER MÖGLICHEN RÜCKFÜHRUNG VON ELEKTROLYTEN

Neben der Verringerung der Ausschleppverluste stellt die Rückführung von Badinhaltsstoffen eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Schadstofffracht des Spülwassers dar. Für diese Rückführung existieren diverse Verfahren.

Wenn die Spülwässer hinter einem Prozessbad mit dem Ziel aufbereitet werden, die gewonnene Lösung wieder im Prozessbad einzusetzen, spricht man von einer Elektrolytrückführung. Eine andere Form der Rückführung von Prozessbadinhaltsstoffen ist die Wertmetallrückgewinnung aus meist konzentrierten Spülwässern. Die gewonnenen Wertmetalle werden entweder so aufbereitet, dass sie im Prozessbad wieder als Einsatzstoff verwendet werden können, oder sie werden extern als Rohstoffersatz verwendet.

Die wichtigsten Parameter zur Beurteilung, ob eine Elektrolytrückführung generell möglich ist, sind die Verdunstungsverluste des Prozessbades sowie die Art und Menge der Wert- und Störstoffe in Prozessbad und Spüle. Aufgrund der Wasserbilanz eines Prozessbades sind einer Elektrolytrückführung Grenzen gesetzt. Selbst bei warm arbeitenden Prozessbädern reicht die natürliche Verdunstung oft nicht aus, um eine 100 %-ige Elektrolytrückführung zu ermöglichen.



**Abbildung 41: Spezifische Wasserverdampfung aus Prozessbädern mit Absaugung**

Deshalb muss das zurückzuführende Spülwasser meist aufkonzentriert werden. Dies kann in Verdunstern oder Verdampfern, aber auch mittels Elektrodialyse oder Umkehrosmose erfolgen. Welches Verfahren im jeweiligen Fall am besten geeignet ist, hängt unter anderem von der Zusammensetzung des entsprechenden Prozessbades ab.

Da bei der Aufkonzentrierung neben den Wertstoffen in der Regel auch die Störstoffe im Elektrolyten angereichert werden, muss oft eine zusätzliche Reinigung, zB mit einem Selektiv-Ionenaustauscher, erfolgen.

Um den Aufwand der Aufkonzentration der Spülwässer nicht zu groß werden zu lassen, sind Maßnahmen zur Elektrolytrückführung in der Regel mit einer sparsamen Spültechnik verknüpft. Durch die Anwendung dieser Spültechniken erhält man kleine Spülwasservolumina mit hoher Konzentration, was die weitere Aufkonzentrierung und damit die Elektrolytrückführung erleichtert.

### 6.5.2 MAßNAHMEN ZUR RÜCKFÜHRUNG ODER RÜCKGEWINNUNG VON PROZESSBADINHALTSSTOFFEN

**Tabelle 23: Maßnahmenkatalog zur Rückführung oder Rückgewinnung von Prozessbadinhaltsstoffen**

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Fällung</b>
Prinzip:	Fällung, Abtrennung und Rücklösung spezifischer Spülwasserinhaltsstoffe an der Anfallstelle (Spüle nach Metallbad) in spezieller Kompaktanlage; die so gewonnene Lösung dient der Elektrolytrückgewinnung oder der Metallrückgewinnung durch Elektrolyse
Kommentar:	- insbesondere geeignet für die Rückgewinnung von Nickel und Nickelelektrolyt aus entsprechenden Spülen
<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Umkehrosmose</b>
Prinzip:	Membrantrennverfahren: Membran ist nur für bestimmte Partikelgrößen durchlässig; treibende Kraft für die Partikelbewegung ist dein Druckgefälle
Kommentar:	- dient der Aufkonzentrierung von Spülwässern zur Elektrolytrückgewinnung - wird in der Praxis kaum angewandt
<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Elektrodialyse</b>
Prinzip:	Membrantrennverfahren, bei dem die Trennwirkung darauf beruht, dass die Membranen nur für bestimmte Moleküle durchlässig sind; treibende Kraft für die Trennung ist ein von außen angelegtes elektrisches Feld
Kommentar:	- einsetzbar vor allem für die Rückgewinnung von Nickel, Kupfer (cyanidisch) und Gold sowie von Chromsäure - meist wird das entsprechende Spülwasser kontinuierlich über die Elektrodialyseanlage geführt - wird in der Praxis kaum angewandt

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Elektrolyse (kathodische Abscheidung)</b>
Prinzip:	Migration geladener Teilchen im elektrischen Feld mit Abscheidung (Reduktion) von Metallionen an der Kathode
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- anwendbar für die Rückgewinnung von: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gold und diversen Edelmetalllegierungen aus alkalischen Prozessbädern und Spülwässern</li> <li>• Silber aus alkalischen Spülwässern</li> <li>• Kupfer und Nickel aus sauren Spülwässern</li> </ul> </li> <li>- als Faustregel gilt: je unedler das abzuscheidende Metall ist, desto aufwendiger ist die elektrolytische Rückgewinnung</li> <li>- Einsetzbarkeit insbesondere vom Wert des abzuscheidenden Metalls sowie der Metallkonzentration abhängig</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Verdampfer (Vakuumverdampfer)</b>
Prinzip:	Aufkonzentrierung von Prozesswasser durch Verdampfen von Wasser
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Rückgewinnung von diversen Elektrolyten aus den jeweiligen Spülen</li> <li>- Elektrolyt darf sich bei der für die Verdampfung notwendigen Erwärmung auf ca. 65 °C nicht verändern, ansonsten Einsatz eines Vakuumverdampfers, bei dem nur eine Erwärmung auf ca. 35 °C notwendig ist</li> <li>- hoher Energieverbrauch, Störstoffe werden mit aufkonzentriert</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Verdunster</b>
Prinzip:	Aufkonzentrierung von Prozesswasser durch Förderung der natürlichen Verdunstung (zB. Absaugung, Rieseltürme)
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- anwendbar für die Rückgewinnung von Chromsäure, sauren Zink- und cyanidischen Silberelektrolyten</li> <li>- die Verdunstung bewirkt einen zusätzlichen Kühlungseffekt</li> </ul>

<b>Maßnahme/Technik:</b>	<b>Ionenaustauscher</b>
Prinzip:	bestimmte Metallionen werden dem Prozesswasser entzogen und gegen gleichgeladene Ionen in äquivalenter Menge ausgetauscht; nach der Regenerierung der Ionenaustauscher sind die entzogenen Metallionen im Eluat aufkonzentriert
Kommentar:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rückgewinnung von Gold und Silber aus Prozessbädern und Spülen und Nickel, Kupfer und Chromsäure aus Spülen</li> <li>- zur Gold- und Silberrückgewinnung Abgabe der gesättigten Austauscherharze an eine Scheideanstalt</li> <li>- die Nickel- und Kupferrückgewinnung erfolgt durch Elektrolyse des Eluats</li> <li>- Chromsäurerückgewinnung aus Eluat</li> </ul>

Die Tabelle 24 fasst den Stand der Technik der Badpflege zusammen.<sup>30</sup> Diese Tabelle kann als Auswahlrichtlinie für geeignete Verfahren zur Badpflege der angegebenen Elektrolyten dienen. Sie beschreibt typische Bäder, typische Verunreinigungen und Techniken zur Regeneration, die im Regelfall sowohl technisch als auch ökonomisch vorteilhaft einsetzbar sind.

**Tabelle 24: Stand der Technik der Badpflege**

No.	Process Solution	Disturbing Pollutants	Remarks	Regeneration means	Remarks
1	Soak Cleaner	Sludge  Oil, liquid grease, metal slivers	dragged in with the work	Sludge: decanting of process solution, discarding of sludge to waste water treatment. - Skimmer, - Gravity separation - Bio-degradation <sup>1</sup> - Ultrafiltration of static rinse water prior to balance drag-out and evaporation losses of treatment solution	<sup>1</sup> emerging technique
2	Pickling of Metals	Dissolved metal		- Retardation	Big volumes only
3	Pickling of Plastics	Dissolved resin reduced oxidising agent	balance situation	Reoxydation through electro dialysis	
4	Desmear of Multilayers	Dissolved resin Cr6 and O4--		- Electrolytic re-oxidation	
5	Electrolytic Cleaner	Dissolved metal, oil, grease	Use overflow compartment	- Skimmer	
6	Cyanide Copper	Redundant copper, decomposition products of organic additives carbonates		- Insoluble anodes with individual DC supply - Active carbon treatment - Dilution of solution	

<sup>30</sup> Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on best available techniques, Surface treatment of metals and plastic materials using electrolytic or chemical process (volume of treatment vats >30 m<sup>3</sup>), May 2002, BAT reference document, May 2002, European committee for surface treatment (in der Originalformulierung belassen)

No.	Process Solution	Disturbing Pollutants	Remarks	Regeneration means	Remarks
7	Acid Copper	Redundant copper, decomposition products of organic additives		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilution of solution</li> <li>- Active carbon treatment</li> </ul>	
8	Electroless Copper	Decomposition products		Feed and bleed	
9	Dull nickel, Watt 's type	Redundant nickel, by-metals		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membrane anodes with individual DC supply</li> <li>- Selective plating cathode at low current densities</li> </ul>	
10	Bright Nickel Watt 's Type	Redundant nickel decomposition products of organic additives  by metals as Zn, Cu, Fe		<ul style="list-style-type: none"> <li>Membrane anodes with individual DC supply</li> <li>- active carbon treatment</li> <li>- electro dialysis</li> <li>- adsorber resin treatment<sup>2</sup></li> <li>- selective plating cathode at low current densities</li> </ul>	<sup>2</sup> emerging
11	Sulphamate Nickel	Decomposition products of surfactants		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Active carbon treatment</li> </ul>	
12	Electroless Nickel for Plastics	Orthophosphite, sulphate, sodium Palladium		Replace after lifetime <sup>3</sup>	<sup>3</sup> emerging techniques
13.	Electroless Nickel for Metals	Orthophosphite, sulphate, sodium		Replace after lifetime <sup>3</sup>	<sup>3</sup> emerging techniques
14	Bright Chromium and Hard Chromium	Cr <sup>3+</sup> , by-metals, dissolved from plated items		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Static rinse water recirculated over cation exchanger prior to balance evaporation losses of treatment solution</li> </ul>	
15	Alkaline Zinc	Carbonates		Crystallisation of carbonate by low temperature treatment	In batch and/or continuously

No.	Process Solution	Disturbing Pollutants	Remarks	Regeneration means	Remarks
16	Cyanide Zinc	Redundant zinc, decomposition products carbonates		Insoluble anodes Crystallisation of carbonate by low temperature treatment	In batch and/or continuously
17	Acid Zinc	Redundant zinc, decomposition products of organic additives, by-metal (iron)		- Membrane anodes with individual DC supply - Active carbon treatment - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> treatment with lot of air - Low pH treatment	
18	Zinc – Nickel (alkaline)	Carbonates		Crystallisation of carbonate by low temperature	
19	Zinc – Iron	Carbonate		Crystallisation of carbonate by low temperature	
20	Passivation	Conversion products of passivated zinc and zinc alloys, sulphate, by-metals		Feed and bleed	
21	Aluminium Oxidation (sulphuric)	Dissolved aluminium		- Retardation	
22	Aluminium Oxidation (chromic acid)	Dissolved aluminium Cr <sup>3+</sup>		- Feed and bleed - Correct anode-cathode ratio	
23	Electrolytic Colouring	Sn <sup>4+</sup> Aluminium enrichment	Filtration not appropriated	- Feed and bleed - R.O.	
24	Inorganic Colouring	Drag in of sulphate and phosphate Iron hydroxide Free ferri-ammoniumoxalate	Affects colour	- Feed and bleed based on colour - Filtration - Reduction with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
25	Organic Colouring	Numerous pollutants		- Difficult regeneration	
26	Silver	Decomposition products, potassium carbonate	Based on potassium	- Feed and bleed	

No.	Process Solution	Disturbing Pollutants	Remarks	Regeneration means	Remarks
27	Static Rinses	Metal hydroxides, depending on pH, surfactants and algae		Filtration	
28	Running Rinses	Dissociated chemicals		Elimination by ion exchange	

Im Rahmen von ZERMEG wurde auch eine Literaturrecherche zur Einsetzbarkeit diverser Badpflegemaßnahmen durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle 25 zeigt die Ergebnisse dieser Literaturrecherche zur Einsetzbarkeit von Badpflegemaßnahmen und Kreislauftechnologien<sup>31</sup>. Sie bietet eine Orientierung zur Auswahl möglicher Badpflegemaßnahmen.

Maßnahmen nach Tabelle 24 sollten in der zu optimierenden Anlage in jedem Fall umgesetzt sein, die Tabelle 25 soll Ansatzpunkte für denkbare Pflegemaßnahmen geben, die dann im Zuge einer Optimierung auf ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit im Detail überprüft werden müssen.

---

<sup>31</sup> Einsatz von wasserschonenden und wasservermeidenden Technologien in der Oberflächenbehandlung von Metallen mit Schwerpunkt auf Eloxieren, Mikko Planasch, Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik der Technischen Universität Graz, 2003

**Tabelle 25: Kenndaten von Maßnahmen zur Badpflege und Kreislaufführung**

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Vakuumverdampfer Brüdenverdichter	~ 80	~ 600 mbar	30 – 1.000 l/h	Keine Salze im Destillat Organik zu Teil im Destillat (leichte KW's)	Destillat: keine Leitfähigkeit TOC durch verschleppte, leicht flüchtige KW's	Dichte: $\rho=1,3 - 1,35$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Einsatz von Medien mit schäumenden Komponenten</li> <li>Korrosion bei stark sauren Medien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Destillat kann in den Prozess rückgeführt werden</li> <li>Sterilisation des Destillats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrat zur Entsorgung</li> <li>Zerstörung von wärmeempfindlichen Badinhaltsstoffen</li> <li>Verschleppung von KW's steigt durch die hohe Temperatur</li> <li>Einsatz von Entschäumern</li> </ul>
Vakuumverdampfer Wärmepumpe	35 – 45	~ 80 mbar	30 – 1.000 l/h	Keine Salze im Destillat Organik zu Teil im Destillat t (leichte KW's)		Dichte: $\rho=1,3 - 1,35$		<ul style="list-style-type: none"> <li>Destillat kann in den Prozess rückgeführt werden</li> <li>Keine Korrosion bei stark sauren Medien</li> <li>Wärmeempfindliche Badinhaltsstoffe werden nicht zerstört – Kosten!</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrat zur Entsorgung</li> <li>Energiekosten höher als bei Brüdenverdichter</li> </ul>
Retardation Anodisierbad $H_2SO_4$	~ 20		140 – 2.000 l/h	Säurerück- gewinnung $H_2SO_4$ : > 95 % Aluminiumaustag ~ 40 %	Abhängig von Al- Konzentration im Bad  Aluminium: 5 – 7 g/l $H_2SO_4$ : 150 – 180 g/l	Abhängig von Al- Konzentration im Bad  Aluminium: 3 – 7 g/l $H_2SO_4$ : 23 – 37 g/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auslegung nach Oberflächendurchsatz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stromeinsparungen durch niedrigere Al-Konzentration</li> <li>Hoher Wirkungsgrad bei der <math>H_2SO_4</math> Rückgewinnung – geringerer Sulfat-Belastung im Abwasser</li> <li>Durch Rückführung des ersten Teils des Spülwassers in den Vorlagebehälter, kann die benötigte Spülwassermenge um 50% reduziert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rückspülung zur Regeneration notwendig</li> <li>Halbkonzentrat muss behandelt oder entsorgt werden</li> </ul>
Retardation Beizbad HCl							<ul style="list-style-type: none"> <li>Auslegung nach Oberflächendurchsatz</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Stromeinsparung, rechnet sich nur über Entsorgung</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Biologische Regeneration des Spülbades nach der Entfettung	~ 42	kein Druck	Beliebig; Reaktorgroße abhängig vom Beckenvolumen	Abbaurrate CSB: ~ 3,2 mg CSB/h organische Trockensubstanz (=Konz. im Entfettungsbad mal Volumen des Beckens)	0,1 µm Klar und feststofffrei		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroorganismen beschränken die Temperatur und pH-Wert</li> <li>• Keine saure Entfettung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsparung Frischsäure: 25%</li> <li>• Keine Entsorgungskosten für das Entfettungsbad</li> <li>• Kein Neuansatz notwendig</li> <li>• Höhere Oberflächenqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmittel: Zusatz von Nährlösungen</li> <li>• Spülbecken nach Entfettung notwendig</li> </ul>
Mikrofiltration E6 – Beizbad	~ 60	1,5 – 3 bar	Mittl. Flux: 18 – 32 l/m <sup>2</sup> h		0,1 µm Klar und feststofffrei	Aufkonzentrierungsfaktor: 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr geringer Flux auf Grund der hohen Viskosität</li> </ul>
Mikrofiltration Entfettungsbad	~ 40	~2,5 bar	Mittl. Flux: 100- 180 l/m <sup>2</sup> h	Abhängig von der Öl/Fett Konzentration im Feed	0,1 µm Feed 1 % Permeat 5 – 10 mg/l Feed 10 % Permeat 50 mg/l	Öl: 10 % bzw. 110 g/l Aufkonzentrierungsfaktor: 15-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutlich höherer Flux als bei UF-Anlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei hoher Beladung im Entfettungsbad Qualität des Permeats nicht für Direkteinleitung geeignet</li> </ul>
Mikrofiltration Abwasser	~ 40	~2,5 bar	Mittl. Flux: 250 – 400 l/m <sup>2</sup> h		0,1 µm	Aufkonzentrierungsfaktor: 20 - 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Flux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhergehende Hydroxid-Fällung notwendig</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Ultrafiltration	~ 60	3,5 – 4,5 bar	Mittl. Flux: ~ 50 l/m <sup>2</sup> h	Rückhalt Öl: > 95 %	0,01 µm Durchgang Tenside: > 90 % Ölkonzentration: 1 – 50 mg/l	Ölkonzentration: 40 – 60 % Aufkonzentrierungsfaktor: 40 – 200	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr guter Rückhalt für Fette/Öle</li> <li>Rückführung des Permeats als Spülwasser ist möglich</li> <li>Sehr gute Durchlässigkeit für waschaktive Substanzen (inkl. Tenside), dadurch Einsparung für Waschchemikalien</li> <li>Direkteinleitung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Flux</li> <li>Bei hohen Temperaturen keramische Membranen</li> <li>Konzentrat muss entsorgt werden</li> <li>Eventuell weitere Aufkonzentrierung des Konzentrats notwendig</li> </ul>
Vakuumverdampfer Brüdenverdichter	~ 80	~600 mbar	30 – 1.000 l/h	Keine Salze im Destillat Organik zu Teil im Destillat (leichte KW's)	Destillat: keine Leitfähigkeit TOC durch verschleppte, leicht flüchtige KW's	Dichte: $\rho=1,3 - 1,35$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Einsatz von Medien mit schäumenden Komponenten</li> <li>Korrosion bei stark sauren Medien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Destillat kann in den Prozess rückgeführt werden</li> <li>Sterilisation des Destillats</li> <li>Eventueller Verkauf des Konzentrats als z.B. Fällungsmittel oder Rückführung als Prozesslösung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrat zur Entsorgung</li> <li>Zerstörung von wärmeempfindlichen Badinhaltsstoffen</li> <li>Verschleppung von KW's steigt durch die hohe Temperatur</li> <li>Einsatz von Entschäumern</li> </ul>
Vakuumverdampfer Wärmepumpe	35 – 45	~80 mbar	30 – 1.000 l/h	Keine Salze im Destillat Organik zu Teil im Destillat t (leichte KW's)		Dichte: $\rho=1,3 - 1,35$		<ul style="list-style-type: none"> <li>Destillat kann in den Prozess rückgeführt werden</li> <li>Keine Korrosion bei stark sauren Medien</li> <li>Wärmeempfindliche Badinhaltsstoffe werden nicht zerstört – Kosten!</li> <li>Eventueller Verkauf des Konzentrats als z.B. Fällungsmittel oder Rückführung als Prozesslösung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrat zur Entsorgung</li> <li>Energiekosten höher als bei Brüdenverdichter</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Retardation Anodisierbad H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	~ 20		140 – 2.000 l/h	Säurerück- gewinnung H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : > 95 % Aluminiumaustrag ~ 40 %	Abhängig von Al- Konzentration im Bad  Aluminium: 5 – 7 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 150 – 180 g/l	Abhängig von Al- Konzentration im Bad  Aluminium: 3 – 7 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 23 – 37 g/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslegung nach Oberflächendurchsa tz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromersparungen durch niedrigere Al- Konzentration</li> <li>• Hoher Wirkungsgrad bei der H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Rückgewinnung – geringerer Sulfat- Belastung im Abwasser</li> <li>• Durch Rückführung des ersten Teils des Spülwassers in den Vorlagebehälter, kann die benötigte Spülwassermenge um 50% reduziert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückspülung zur Regeneration notwendig</li> <li>• Halbkonzentrat muss behandelt oder entsorgt werden</li> </ul>
Retardation Beizbad HCl							<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslegung nach Oberflächendurchsa tz</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Stromersparung, rechnet sich nur über Entsorgung</li> </ul>
Biologische Regeneration des Spülbad nach der Entfettung	~ 42	kein Druck	Beliebig: Reaktorgröße abhängig vom Becken volumen	Abbaurrate CSB: ~3,2 mg CSB/h organische Trockensubstanz (=Konz. im Entfettungsbad mal Volumen des Beckens)	0,1 µm Klar und feststofffrei		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikroorganismen beschränken die Temperatur und pH-Wert</li> <li>• Keine saure Entfettung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsparung Friscchsäure: 25%</li> <li>• Keine Entsorgungskosten für das Entfettungsbad</li> <li>• Kein Neuansatz notwendig</li> <li>• Höhere Oberflächenqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmittel: Zusatz von Nährlösungen</li> <li>• Spülbecken nach Entfettung notwendig</li> </ul>
Mikrofiltration E6 – Beizbad	~ 60	1,5 – 3 bar	Mittl. Flux: 18 – 32 l/m <sup>2</sup> h		0,1 µm Klar und feststofffrei	Aufkonzentrierungsf aktor: 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr geringer Flux auf Grund der hohen Viskosität</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Mikrofiltration Entfettungsbad	~ 40	~ 2,5 bar	Mittl. Flux: 100-180 l/m <sup>2</sup> h	Abhängig von der Öl/Fett Konzentration im Feed	0,1 µm Feed 1 % Permeat 5 – 10 mg/l Feed 10 % Permeat 50 mg/l	Öl: 10% bzw. 110 g/l Aufkonzentrierungsfaktor: 15-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> <li>Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deutlich höherer Flux als bei UF-Anlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei hoher Beladung im Entfettungsbad Qualität des Permeats nicht für Direkteinleitung geeignet</li> </ul>
Mikrofiltration Abwasser	~ 40	~ 2,5 bar	Mittl. Flux: 250 – 400 l/m <sup>2</sup> h		0,1 µm	Aufkonzentrierungsfaktor: 20 - 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Flux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorhergehende Hydroxid-Fällung notwendig</li> </ul>	
Ultrafiltration	~ 60	3,5 – 4,5 bar	Mittl. Flux: ~50 l/m <sup>2</sup> h	Rückhalt Öl: > 95 %	0,01 µm Durchgang Tenside: > 90 % Ölkonzentration: 1 – 50 mg/l	Ölkonzentration: 40 – 60% Aufkonzentrierungsfaktor: 40 - 200	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Membran muss stabil gegenüber Medium, Temperatur und Druck sein, um eine hohe Standzeit zu gewährleisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr guter Rückhalt für Fette/Öle</li> <li>Rückführung des Permeats als Spülwasser ist möglich</li> <li>Sehr gute Durchlässigkeit für waschaktive Substanzen (inkl. Tenside), dadurch Einsparung für Waschchemikalien</li> <li>Direkteinleitung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Flux</li> <li>Bei hohen Temperaturen keramische Membranen konzentrat muss entsorgt werden</li> <li>Eventuell weitere Aufkonzentrierung des Konzentrat notwendig</li> </ul>
Nanofiltration Anodisierbad	~ 20	40 – 50 bar	Mittl. Flux: ~ 10 l/m <sup>2</sup> h	Al-Rückhalt: 75 – 85% Säurerückgewinnung: 70 – 75%	0,001 µm Aluminium: 2 – 2,5 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : ca. 185 g/l	Aluminium: ca. 25 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : ca. 130 g/l			<ul style="list-style-type: none"> <li>Die hohe H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Konzentration bedingt einen teuren Werkstoff für die Anlage</li> </ul>
Nanofiltration Abwasserfraktion Retardation	~ 20	40 – 50 bar	Mittl. Flux: 14 - 15 l/m <sup>2</sup> h	Al-Rückhalt: > 90 % Säurerückhalt: ~ 50 %	Aluminium: 0,3 – 0,5 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 30 - 40 g/l	Aluminium: ca. 25 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 25 - 35 g/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rückhalt von Al und Flux sehr von Druck abhängig; Steigerung von 40 auf 50bar bringt eine Verdopplung des Flux bei 20 g/l Al.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durch die geringe H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Konzentration: Ausführung der Anlage aus deutlich billigerem Werkstoff</li> <li>Membranstandzeit deutlich höher als bei Filtration des Anodisierbades</li> </ul>	

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Nanofiltration Phosphatierbad	33 – 37	8 – 10 bar	Mittl. Flux: 35 – 40 l/m <sup>2</sup> h	Durchgang Builder: > 90 % Rückhalt: Zn, Ni, Mn: ~ 98 %	Zn <sup>2+</sup> : ~ 3,5 mg/l Mn <sup>2+</sup> : ~ 1,1 mg/l Ni <sup>2+</sup> : ~ 1,1mg/l	Zn <sup>2+</sup> : ~1200 mg/l Mn <sup>2+</sup> : ~440 mg/l Ni <sup>2+</sup> : ~930 mg/l Aufkonzentrierungsfaktor: 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Salpetersäure vor der Membran verhindert Ablagerungen und somit die Notwendigkeit zu Spülen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Durchlässigkeit für Builder, Reduktion Entfettungschemikalien: 20%</li> <li>Konzentrat kann in Prozessbad rückgeführt werden</li> <li>Filtrat wird in Spülkreislauf rückgeführt</li> <li>Fast vollständige Entfernung von Nickel aus dem Abwasserschläm</li> <li>Kreislauführung von Zn, Mn, Ni: 98%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auf Grund der Kosten nur für Großanlagen geeignet</li> </ul>
Umkehrosmose Saure Spülwässer	Bis 20	20 bar	Mittl. Flux: 11 l/m <sup>2</sup> h	Salzrückhalt: > 98 %		15 – 50% Feed Konzentrat		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gute Qualität des Permeats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Energiekosten</li> </ul>
Umkehrosmose VE-Wasser	Max. ~ 25	10 – 21 bar			1-stufig: 10 – 30 µS/cm 2-stufig: < 1 µS/cm	20% Feed Konzentrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Patentiertes Verfahren für Kleinanlagen: 1 m<sup>3</sup>/d;</li> <li>Leistungsdruck 2,5 – 6 bar ausreichend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine weiteren Chemikalien notwendig</li> <li>Bei eigenem Brunnen ist die Anlage im Betrieb billiger als Ionentauscher-Anlage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrat muss entsorgt werden</li> <li>5-15% höher Investitionskosten als Ionentauscheranlage</li> <li>Erhöhter Wasserverbrauch (3-4 fach bzw. 1 Liter Filtrat – 0,2 Liter Abwasser)</li> </ul>
Ionentauscher VE-Wasser		4 – 6 bar	Pro m <sup>3</sup> /h ~ 40 Liter Anionen- und Kationenharz		Ohne Mischbett: 5 µS/cm Mit Mischbett: 0,2 – 0,5 µS/cm			<ul style="list-style-type: none"> <li>geringere Investitionskosten als UO-Anlage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenerationschemikalien notwendig: NaOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> </ul>
Sandfilter			ab 6 – 10 m <sup>3</sup> /h		Trinkwasserqualität		<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wird oft als „Polzeifilter“ eingesetzt</li> <li>bis zu Trinkwasserqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenerieren über Rückspülen</li> <li>Entsorgung, Behandlung Rückspülwasser</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Kerzenfilter		1 – 6 bar (meist 3 - 6) $\Delta p_{max} = 2,0$ bar	Ab 100 l/h		1 – 300 µm Standard: 10 µm	Kein Konzentrat Filterpatrone wird entsorgt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> <li>Im Bereich 1 – 10 µm bessere Qualität als Beutelfilter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kerzen von 1 – 300 µm können eingesetzt werden</li> <li>Oberflächen + Tiefenfilterwirkung</li> <li>Investitionskosten sehr gering</li> <li>Kurze Standzeiten bei Patronenwechsel</li> <li>Je niedriger der Durchfluss, desto besser die Filtratqualität bei gleicher Filterfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>reinigen des Filters durch Kerzentausch</li> <li>Ein Teil des Filterschlamms bleibt im Gehäuse zurück</li> <li>Standzeit einer Patrone: ~ 24 Std.</li> <li>Kerze muss entsorgt werden</li> </ul>
Beutelfilter	30 – 90	1 – 6 bar $\Delta p_{max} = 1,4$ bar	Ab 100 l/h – 20 m <sup>3</sup> /h	Größte Abscheideleistung bei $\Delta p = 0,8$ bar	1 – 1000 µm bei 1 µm - relativ 60%	Kein Konzentrat Filterbeutel wird entsorgt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> <li>Einsatz bei großen Schmutzfrachten</li> <li>Im Bereich 50 – 100 µm bessere Qualität als Kerzenfilter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr billig</li> <li>Bezogen auf Durchfluss billiger als Kerzenfilter</li> <li>Sehr kurze Standzeiten bei Beutelwechsel (~5 min)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine schmierigen Stoffe, da der Beutel sonst schnell verstopft</li> <li>Beutel muss entsorgt werden</li> <li>Keine Reinigungsschemie notwendig</li> </ul>
Papierplattenfilter		Max. 2 bar	Min. 200 – 300 l/h – 20 m <sup>3</sup> /h	Abhängig von Filterpapier bzw. Filterhilfsmittel	Standard 10 – 15 µm	Kein Konzentrat Filterpapier wird entsorgt		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Filterhilfsmitteln möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standzeit bei Wechsel des Filterpapiers größer als bei den anderen Filtern</li> <li>Filterpapier muss entsorgt werden</li> </ul>
Siebkorbfiter	bis 300	Bis 20 bar, max. Differenzdruck: 3 bar	5 m <sup>3</sup> /h – 400 m <sup>3</sup> /h		15 µm -	Rückspülen zur Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Reinigen über Rückspülen</li> <li>Investition höher</li> </ul>
Anschwemmfiter			3 m <sup>3</sup> /h – 120 m <sup>3</sup> /h	Abhängig vom Filterhilfsmittel	0,1 – 0,5 µm			<ul style="list-style-type: none"> <li>Für sehr feine Verunreinigungen geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Filterhilfsmitteln</li> </ul>
Bandfilter		Max 0,7 bar Unterdruck	1 m <sup>3</sup> /h -100 m <sup>3</sup> /h		Gut bei 20 µm Ab 5 µm			<ul style="list-style-type: none"> <li>Wartungsarm</li> <li>Kontinuierlich</li> <li>Leichte Reinigung</li> </ul>	

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Separatoren	20 – 115	Max. 10 bar	0,3 m³/h – 60 m³/h	Dichteunterschied von ≥ 2% notwendig Max. Feststoffgehalt: <5%	Bis 70 % Abscheidegrad bei großen Volumenströmen : 6.000 – 9.000 l/h bis 99 % Abscheidegrad bei kleinen Volumenströmen : 600 – 1.200 l/h Bis 1 - 3 µm (bei gefordertem Dichteunterschied!!) Al: ~ 40 µm Stahl: ~ 20 µm	Schlammrestfeuchte : > 40 % bei öligen Medien > 25 % bei wässrigen Medien zur Reinigung von Emulsionen bis zu 90 % Feststoffanteil		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viskosität irrelevant</li> <li>• Kein Gegenspülen</li> <li>• Waschemulsion von Entfettungsbädern wird nicht zerstört und kann rückgeführt werden</li> <li>• Keine Weiterbehandlung des Konzentrats notwendig, direkte Verbrennung oder Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichteunterschied von ≥ 2% notwendig</li> <li>• Bei Entfettungsbad 2-stufig fahren: zuerst flüssig, dann flüssig-flüssig Trennung</li> </ul>
Hydrozyklon		1,4 bar	0,4 - 50 m³/h	Dichtedifferenz: ab 1 g/cm³				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robust</li> <li>• Platz sparend</li> </ul>	
Membranelektrolyse Alkalisches Spülbäd		Kein Druck	Natrium: 300 g/m²h Stromdichte: 5 A/dm²	Permelektivität: 99,7 % ~ 77 % Al fallen als Hydroxid aus	Al: 30 – 50 g/l Pro Gramm transportiertes Natrium fällt 0,84 Gramm Al aus Stromausbeute: ~ 70 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Input Al: 60 – 70 g/l</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmittel: NaOH</li> <li>• Gefälltes Al(OH)₃, muss aus Lösung entfernt werden</li> </ul>
Membranelektrolyse Dialysat Diffusionsdialyse		Kein Druck	Stromdichte: 1,85 A/dm²		H₂SO₄: < 1 g/l Al fällt als Al(OH)₃ aus Stromausbeute bezogen auf Sulfat: > 70 % Gesamtstromausbeute: ~ 40 %				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmittel: H₂SO₄,</li> <li>• Natriumsulfatlösung</li> <li>• Schlechte Ausbeute</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Kammerfilterpresse		Filterend- druck: 15 bar	60 – 100 l/m <sup>2</sup> h bei 2-3% TS		Bis ca. 1 µm	Schlamm TS: 25 – 40 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abhängig vom eingesetzten Tuch: ~1 µm</li> <li>Chargenzeit: 1,5 – 4 h + Fällung, Pumpzeiten, ...: 1 – 1,5 h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei Einsatz von Schwermetallfällern zur Sulfidfällung kommt man unter schnell unter die Grenzkonzentration zur Einleitung</li> <li>Hohe TS</li> <li>Durch „Überdosierung“ der Fällungsschemie erreicht man sicher immer den Grenzwert – sichere Technik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es muss der Abtrennung eine Fällung vorhergehen -mehr Apparate</li> <li>Einsatz von Fällungsschemikalien</li> <li>Entsorgung des anfallenden Schlammes</li> <li>Wasserzusammensetzung bestimmt die „Qualität“ des Schlammes (Organik – „schlitzig“)</li> </ul>
Nanofiltration Anodisierbad	~ 20	40 – 50 bar	Mittl. Flux: ~ 10 l/m <sup>2</sup> h	Al-Rückhalt: 75 – 85 % Säurerück- gewinnung: 70 – 75 %	0,001 µm Aluminium: 2 – 2,5 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : ca. 185 g/l	Aluminium: ca. 25 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : ca. 130 g/l			<ul style="list-style-type: none"> <li>Die hohe H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Konzentration bedingt einen teuren Werkstoff für die Anlage</li> </ul>
Nanofiltration Abwasserfraktion Retardation	~ 20	40 – 50 bar	Mittl. Flux: 14 - 15 l/m <sup>2</sup> h	Al-Rückhalt: >90% Säurerückhalt: ~50%	Aluminium: 0,3 – 0,5 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 30 - 40 g/l	Aluminium: ca.25 g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 25 - 35 g/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rückhalt von Al und Flux sehr von Druck abhängig; Steigerung von 40 auf 50bar bringt eine Verdopplung des Flux bei 20 g/l Al.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durch die geringe H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Konzentration: Ausführung der Anlage aus deutlich billigerem Werkstoff</li> <li>Membranstandzeit deutlich höher als bei Filtration des Anodisierbades</li> </ul>	

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Nanofiltration Phosphatierbad	33 – 37	8 – 10 bar	Mittl. Flux: 35 – 40 l/m <sup>2</sup> h	Durchgang Builder: > 90 % Rückhalt: Zn, Ni, Mn: ~ 98 %	Zn <sup>2+</sup> : ~ 3,5 mg/l Mn <sup>2+</sup> : ~ 1,1 mg/l Ni <sup>2+</sup> : ~ 1,1mg/l	Zn <sup>2+</sup> : ~ 1200 mg/l Mn <sup>2+</sup> : ~ 440 mg/l Ni <sup>2+</sup> : ~ 930 mg/l Aufkonzentrierungs- faktor: 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Salpetersäure vor der Membran verhindert Ablagerungen und somit die Notwendigkeit zu Spülen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Durchlässigkeit für Builder, Reduktion Entfettungschemikalien: 20%</li> <li>Konzentrat kann in Prozessbad rückgeführt werden</li> <li>Filtrat wird in Spülkreislauf rückgeführt</li> <li>Fast vollständige Entfernung von Nickel aus dem Abwasserschläm</li> <li>Kreislauführung von Zn, Mn, Ni: 98%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auf Grund der Kosten nur für Großanlagen geeignet</li> </ul>
Umkehrosmose Saure Spülwässer	Bis 20	20 bar	Mittl. Flux: 11 l/m <sup>2</sup> h	Salzrückhalt: > 98 %		15 – 50 % Feed Konzentrat		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gute Qualität des Permeats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Enerhiekosten</li> </ul>
Umkehrosmose VE-Wasser	Max. ~25	10 – 21 bar			1-stufig: 10 – 30 µS/cm 2-stufig: < 1 µS/cm	20 % Feed Konzentrat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Patentiertes Verfahren für Kleinanlagen: 1 m<sup>3</sup>/d;</li> <li>Leistungsdruck 2,5 – 6 bar ausreichend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine weiteren Chemikalien notwendig</li> <li>Bei eigenem Brunnen ist die Anlage im Betrieb billiger als Ionentauscher-Anlage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrat muss entsorgt werden</li> <li>~15% höher Investitionskosten als Ionentauscheranlage</li> </ul>
Ionentauscher VE-Wasser		4 – 6 bar	Pro m <sup>3</sup> /h ~ 40 Liter Anionen- und Kationenharz ab 6 – 10 m <sup>3</sup> /h		Ohne Mischbett: 5 µS/cm Mit Mischbett: 0,2 – 0,5 µS/cm			<ul style="list-style-type: none"> <li>geringere Investitionskosten als UO-Anlage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenerationschemikalien notwendig: NaOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> </ul>
Sandfilter					Trinkwasser- qualität		<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wird oft als „Polizeifilter“ eingesetzt bis zu Trinkwasserqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenerieren über Rückspülen</li> <li>Entsorgung, Behandlung Rückspülwasser</li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Kerzenfilter		1 – 6 bar (meist 3-6) $\Delta p_{max} = 2,0$ bar	Ab 100 l/h		1 – 300 $\mu m$ Standard: 10 $\mu m$	Kein Konzentrat Filterpatrone wird entsorgt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> <li>Im Bereich 1 – 10 <math>\mu m</math> bessere Qualität als Beutelfilter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kerzen von 1 – 300 <math>\mu m</math> können eingesetzt werden</li> <li>Oberflächen + Tiefenfilterwirkung</li> <li>Investitionskosten sehr gering</li> <li>Kurze Standzeiten bei Patronenwechsel</li> <li>Je niedriger der Durchfluss, desto besser die Filtratqualität bei gleicher Filterfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>reinigen des Filters durch Kerzentausch</li> <li>Ein Teil des Filterschlammes bleibt im Gehäuse zurück</li> <li>Standzeit einer Patrone: <math>\sim 24</math> Std.</li> <li>Kerze muss entsorgt werden</li> </ul>
Beutelfilter	30 – 90	1 – 6 bar $\Delta p_{max} = 1,4$ bar	Ab 100 l/h – 20 $m^3/h$	Größte Abscheideleistung bei $\Delta p = 0,8$ bar	1 – 1.000 $\mu m$ bei 1 $\mu m$ - relativ 60 %	Kein Konzentrat Filterbeutel wird entsorgt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> <li>Einsatz bei großen Schmutzfrachten</li> <li>Im Bereich 50 – 100 <math>\mu m</math> bessere Qualität als Kerzenfilter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr billig</li> <li>Bezogen auf Durchfluss billiger als Kerzenfilter</li> <li>Sehr kurze Standzeiten bei Beutelwechsel (<math>\sim 5</math> min)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine schmierigen Stoffe, da der Beutel sonst schnell verstopft</li> <li>Beutel muss entsorgt werden</li> <li>Keine Reinigungsschemie notwendig</li> </ul>
Papierplattenfilter		Max. 2 bar	Min. 200 – 300 l/h – 20 $m^3/h$	Abhängig von Filterpapier bzw. Filterhilfsmittel	Standard 10 – 15 $\mu m$	Kein Konzentrat Filterpapier wird entsorgt		<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Filterhilfsmitteln möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standzeit bei Wechsel des Filterpapiers größer als bei den anderen Filtern</li> <li>Filterpapier muss entsorgt werden</li> </ul>
Siebkorbfiter	bis 300	Bis 20 bar, max. Differenzdruck: 3 bar	5 $m^3/h$ – 400 $m^3/h$		15 $\mu m$ -	Rückspülen zur Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur Feststofftrennung</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Reinigen über Rückspülen</li> <li>Investition höher</li> </ul>
Anschwemmfiter			3 $m^3/h$ – 120 $m^3/h$	Abhängig vom Filterhilfsmittel	0,1 – 0,5 $\mu m$			<ul style="list-style-type: none"> <li>Für sehr feine Verunreinigungen geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz von Filterhilfsmitteln</li> </ul>
Bandfilter		Max 0,7 bar Unterdruck	1 $m^3/h$ -100 $m^3/h$		Gut bei 20 $\mu m$ Ab 5 $\mu m$			<ul style="list-style-type: none"> <li>Wartungsarm</li> <li>kontinuierlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Separatoren	20 – 115	Max. 10 bar	0,3 m³/h – 60 m³/h	Dichteunterschied von $\geq 2\%$ notwendig Max. Feststoffgehalt: $< 5\%$	Bis 70 % Abscheidegrad bei großen Volumenströmen : 6.000 – 9.000 l/h bis 99 % Abscheidegrad bei kleinen Volumenströmen : 600 – 1.200 l/h Bis 1 - 3 $\mu\text{m}$ (bei gefordertem Dichteunterschied!!) Al: $\sim 40 \mu\text{m}$ Stahl: $\sim 20 \mu\text{m}$ 20 $\mu\text{m}$	Schlammrestfeuchte : $> 40\%$ bei öligen Medien $> 25\%$ bei wässrigen Medien zur Reinigung von Emulsionen bis zu 90% Feststoffanteil		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viskosität irrelevant</li> <li>• Kein Gegenspülen</li> <li>• Waschemulsion von Entfettungsbädern wird nicht zerstört und kann rückgeführt werden</li> <li>• Keine Weiterbehandlung des Konzentrats notwendig, direkte Verbrennung oder Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichteunterschied von <math>\geq 2\%</math> notwendig</li> <li>• Bei Entfettungsbad 2-stufig fahren: zuerst flüssig, dann flüssig-flüssig Trennung</li> </ul>
Hydrozyklon		1,4 bar	0,4 - 50 m³/h	Dichtedifferenz: ab 1 g/cm³				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robust</li> <li>• Platz sparend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
Membranelektrolyse Alkalisches Spülbäd		Kein Druck	Natrium: 300 g/m²h Stromdichte: 5 A/dm²	Permelektivität: 99,7 % $\sim 77\%$ Al fallen als Hydroxid aus	Al: 30 – 50 g/l Pro Gramm transportiertes Natrium fällt 0,84 Gramm Al aus Stromausbeute: $\sim 70\%$		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Input Al: 60 – 70 g/l</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmittel: NaOH</li> <li>• Gefälltes <math>\text{Al}(\text{OH})_3</math>, muss aus Lösung entfernt werden</li> </ul>
Membranelektrolyse Dialysat Diffusionsdialyse		Kein Druck	Stromdichte: 1,85 A/dm²		$\text{H}_2\text{SO}_4$ : $< 1 \text{ g/l}$ Al fällt als $\text{Al}(\text{OH})_3$ aus Stromausbeute bezogen auf Sulfat: $> 70\%$ Gesamtstromausbeute: $\sim 40\%$			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebsmittel: <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math></li> <li>• Natriumsulfatlösung</li> <li>• Schlechte Ausbeute</li> </ul>	

	Temp. [°C]	Druck	Baugröße/ Durchsatz	Trennschnitt	Reinphase	Konzentratphase	Einsatzgrenzen	Vorteile	Nachteile
Kammerfilterpresse		Filterend- druck: 15 bar	60 – 100 l/m <sup>2</sup> h bei 2 - 3 % TS		Bis ca. 1 µm	Schlamm TS: 25 – 40 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abhängig vom eingesetzten Tuch: ~ 1 µm</li> <li>Chargenzeit: 1,5 – 4 h + Fällung, Pumpzeiten, ...: 1 – 1,5 h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei Einsatz von Schwermetallfällern zur Sulfitfällung kommt man unter schnell unter die Grenzkonzentration zur Einleitung</li> <li>Hohe TS</li> <li>Durch „Überdosierung“ der Fällungsschemie erreicht man sicher immer den Grenzwert – sichere Technik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es muss der Abtrennung eine Fällung vorhergehen -mehr Apparate</li> <li>Einsatz von Fällungsschemikalien</li> <li>Entsorgung des anfallenden Schlammes</li> <li>Wasserzusammensetzung bestimmt die „Qualität“ des Schlammes (Organik – „schlitzig“)</li> </ul>

Zu einer Auswahl der oben beschriebenen Technologien (Vakuumverdampfer, Mikrofiltration, Ultrafiltration, Separatoren, Retardation, Biologische Reinigung der Entfettung, Ionentauscher, Umkehrosmose und diverse Filterbauarten) wurden im Rahmen von ZERMEG detailliertere Erhebungen zur Beschreibung von bekannten Vor- und Nachteilen sowie zur Erhebung von Richtkosten durchgeführt.

Im Folgenden werden unterschiedliche Technologien, die zur kontinuierlichen Regeneration von Prozessbädern oder zur Kreislaufführung von Prozesslösungen und Spülwasser eingesetzt werden können, dargestellt. Neben den technischen Parametern wird auf die Investitions-<sup>32</sup> und Betriebskosten<sup>33</sup> eingegangen.

---

<sup>32</sup> Hier ist es sehr schwer, einen nachvollziehbaren und „fairen“ Vergleich der Technologien durchzuführen, da die an sie gestellten Aufgaben sehr unterschiedlicher Natur sein können. Weiters können manche Technologien nur in bestimmten Baugrößen bzw. Massenströmen, oder unter bestimmten Randbedingungen, die vielleicht erst geschaffen werden müssen (zB Fällung zur besseren Feststoffabscheidung) wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden. Aus diesem Grund wird nicht eine Baugröße (Massenstrom bzw. Durchsatz) miteinander verglichen, sondern eine für das jeweilige Verfahren wirtschaftlich sinnvolle – „typische Standardanlagengröße“. Für diese „Standardbaugröße“ wird der Durchsatz auf 100 l/h bezogen.

Zur Erklärung:

Die Investitionskosten für einen Vakuumverdampfer mit einem Durchsatz von 200 l/h betragen in etwa € 64.000.-.

Durchsatz: 100 l/h kosten somit € 32000.-

Die Investitionskosten für einen Edelstahl-Beutelfilter mit einem Durchsatz von 2000 l/h betragen in etwa € 2.300.-

Durchsatz: 100 l/h kosten somit € 115.-

Für jede Technologie ist die Bezugsgröße angegeben.

<sup>33</sup> Die Betriebskosten werden für die jeweilige Bezugsgröße angegeben. Die Preise für Hilfs- und Betriebsmittel entsprechen den Handelsüblichen zum Stand der Fertigstellung des Berichts und sind nicht näher ausgeführt.

Der Strompreis wurde mit € 0,14/kWh, die Personalkosten mit € 100,-/h und der Frischwasserpreis € 1,10/m<sup>3</sup> angenommen.

Für die Berechnung wurde anteilmäßig der Stundenanteil für Kosten, die täglich und/oder nur in unregelmäßigen Zeitabständen entstehen, mit eingerechnet (zB Filterwechsel, Revision). Standzeiten für Verbrauchsgüter wurden den „typischen Standzeiten“ nach den Herstellerangaben entsprechend angenommen (zB Filterkerzen: 24 Stunden).

Der Verdienstentgang (Produktionsstillstand) während eventueller Standzeiten und positive Auswirkungen durch z.B. Verringerung der Frischwassermenge, Einsparungen eingesetzter Chemikalien, Entfall von Deponiekosten (!) wurde nicht berücksichtigt, da derartige Kosten und Einsparungen sehr vom Standort und den örtlichen Betriebsparametern abhängen.

Es sei deutlich darauf hingewiesen, dass es sich bei den Preisangaben um unverhandelte Richtpreise handelt, welche für die meisten Anwendungen in der Oberflächentechnik mit einer Genauigkeit von ± 15 % am Tag der Fertigstellung dieses Berichts stimmen. Für bestimmte andere Randbedingungen, Durchsätze, örtliche Gegebenheiten und Zeitpunkte (Preisänderungen oder Weiterentwicklung des „Standes der Technik“) können die Zahlenwerte teilweise deutlich abweichen und müssen vor einer Auftragvergabe immer überprüft werden!

Die Kosten für Membrananlagen waren bzw. sind am schwersten abzuschätzen und endgültig erst nach erfolgreichen Pilotversuchen zu bestimmen, in welchen der Flux, benötigte Druck, Rückspülzeiten, Foulingverhalten,... der einzelnen Membranen geklärt sind. Eine Schwierigkeit liegt darin, dass der Preis pro m<sup>2</sup> Membranoberflächen, je nach Bauart und Ausführung zwischen € 150 - 2000 liegt und die Standzeiten zwischen 12 Monaten und 5 Jahren variieren können. Dies macht es sehr schwer, genaue Aussagen zur Kostenstruktur von Membrantrennanlagen treffen zu können.

Grundsätzliche Aussagen konnten selbstverständlich getroffen werden; so konnten zB die Ergebnisse, die in folgender Abbildung dargestellt sind und in der mo Metalloberfläche 09/97 präsentiert wurden, bestätigt werden und sind als Richtwerte aufzufassen.

	Vakuumdestillation mit direkter Brüdenverdichtung	Vakuumdestillation mit Kälteaggregat	Verdampfung mit Fremdheizung	Membrantechnik	Elektrolytische Verfahren	Chemische Spaltung
Wasserrecycling	++	+	+	-	--	--
Flexibilität bei Schwankungen im Schmutzwasser	++	++	++	-	--	--
Konstante Klarwasserqualität	++	++	++	-	--	--
Gefahr der Membranverblockung	++	++	++	--	++	++
Chemikalienbedarf	++	++	++	++	+	--
Kältemittel im Kreislauf	++	--	++	++	++	++
Einfache Reinigung und Wartung	++	-	-	0	+	++
Energiebedarf	+	-	--	+	+	++
Entkeimung des Destillates	++	--	++	--	--	--
Investitionskosten unter 400 l/h	+	+	+	0	0	0
Investitionen über 400 l/h	-	--	--	++	+	++
Zur Badpflege geeignet	--	--	--	++	--	--

Legende: ++ sehr vorteilhaft, + vorteilhaft, 0 neutral, - nachteilig, -- sehr nachteilig

**Abbildung 42: Einsatzbereiche von Membrananlagen und Vakuumverdampfern<sup>34</sup>**

<sup>34</sup> Vakuumdestillation – Differenzieren unterschiedlicher Verfahren, mo Metalloberfläche 09/97, Carl Hanser Verlag, München

### Vakuumverdampfer:

Prinzip:	Prozesswasser wird verdampft und als Destillat kondensiert. Die im Sumpf verbleibende Flüssigkeit wird Konzentrat genannt. Es gibt zwei Bauformen, welche sich durch die Stärke des verwendeten Unterdrucks (bzw. die eingesetzte Temperatur) unterscheiden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vakuumverdampfer mit interner Brüdenverdichtung: ~ 80 °C</li> <li>- Vakuumverdampfer mit Wärmepumpe: ~ 40 °C</li> </ul>		
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destillat kann in den Prozess rückgeführt werden</li> <li>- Keine Korrosion bei stark sauren Medien</li> <li>- Sterilisation bei hohen Temperaturen</li> <li>- Ev. kann das Konzentrat als Wertstoff verkauft werden (Fällungsmittel in kommunaler Klärtechnik) oder in den Prozess rückgeführt werden</li> </ul>	Nachteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konzentrat ev. zur Entsorgung</li> <li>- Zerstörung von wärmeempfindlichen Badinhaltsstoffen bei hohen Temperaturen</li> <li>- Verschleppung von KWs ins Destillat steigt mit Höhe der Temperatur</li> <li>- Einsatz von Entschäumern nötig bzw. kein Einsatz von schäumenden Medien</li> </ul>
Bezugsgröße:	200 l/h		
Investitionskosten (100 l/h):	€ 32.000.-	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde:	€ 0,5.- mit interner Brüdenverdichtung € 1,5.- mit Wärmepumpe

### Mikrofiltration – Entfettungsbad:

Prinzip:	Das zu reinigende Medium fließt im Kreuzstrom über eine Membran. Teilchen, die größer als der Porendurchmesser sind, werden zurückgehalten und gelangen in das Retentat. Der durch die Membran fließende Strom wird Permeat genannt.		
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutlich höherer Flux als bei UF-Anlagen</li> </ul>	Nachteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei hoher Beladung im Entfettungsbad Qualität des Permeats nicht für Direkteinleitung geeignet</li> <li>- Qualität des Permeats ist von der Organikbelastung im Feed abhängig und nicht konstant</li> <li>- Entsorgung des Konzentrats notwendig</li> </ul>
Bezugsgröße:	2000 l/h		
Investitionskosten (100 l/h):	€ 2.305.- (keramische Membran) € 1.903.- (Kunststoffmembran)	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde:	€ 0,34.-

### Mikrofiltration – Beizbad:

Prinzip:	Das zu reinigende Medium fließt im Kreuzstrom über eine Membran. Teilchen, die größer als der Porendurchmesser sind, werden zurückgehalten und gelangen in das Retentat. Der durch die Membran fließende Strom wird Permeat genannt.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gute Qualität des Beizbades</li> <li>- Kein Neuansatz des Beizbades notwendig</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Flux ist sehr niedrig, da die Gefahr von Verblockungen ansonsten sehr niedrig ist</li> <li>- Entsorgung des Konzentrats notwendig</li> </ul>
Bezugsgröße:	200 l/h	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 14.250.- (keramische Membran) € 11.800.- (Kunststoffmembran)	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,78.-

### Ultrafiltration – Entfettungsbad:

Prinzip:	Das zu reinigende Medium fließt im Kreuzstrom über eine Membran. Teilchen, die größer als der Porendurchmesser sind, werden zurückgehalten und gelangen in das Retentat. Der durch die Membran fließende Strom wird Permeat genannt.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstant gute Qualität des Ablaufs</li> <li>- Kein Neuansatz des Entfettungsbades notwendig</li> <li>- Unverbrauchte Tenside können im Kreislauf geführt werden – Einsparung der Chemikalienkosten</li> <li>- Direkteinleitung möglich</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Flux ist geringer als bei der Mikrofiltration</li> <li>- Konzentrat muss entsorgt werden</li> <li>- Bei hohen Temperaturen keramische Membranen</li> </ul>
Bezugsgröße:	1000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 1.900.- (keramische Membran) € 1.560.- (Kunststoffmembran)	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,73.-

## Separatoren:

Prinzip:	- Separatoren erhöhen durch Anbringen einer Zentripetalkraft die Absetzgeschwindigkeit der abzutrennenden Teilchen im Medium. Die Ausbringung des Schlammes erfolgt automatisch oder händisch.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viskosität irrelevant</li> <li>- Kein Gegenspülen</li> <li>- Waschemulsion von Entfettungsbädern wird nicht zerstört und kann rückgeführt werden</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichteunterschied von <math>\geq 2\%</math> notwendig</li> <li>- Bei Entfettungsbad 2-stufig fahren: zuerst fest-flüssig, dann flüssig-flüssig Trennung</li> <li>- Entsorgung des Schlammes notwendig</li> </ul>
Bezugsgröße:	5000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 340.- halbautomatisch – Edelstahl € 200.- halbautomatisch – nicht Edelstahl € 840.- vollautomatisch - Edelstahl	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,07.- halbautomatisch € 0,045.- vollautomatisch

## Retardation des Anodisierbads

Prinzip:	Über einen Ionenaustauscher wird aus dem Anodisierbad gelöstes Aluminium entfernt, während die Schwefelsäure in das Bad rückgeführt wird. Nach Erreichen der maximalen Kapazität des Ionenaustauscherharzes wird dieses gespült und somit regeneriert. Das aluminiumreiche Spülwasser wird Eluat genannt.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stromeinsparungen durch niedrigere Al-Konzentration im Becken</li> <li>- Hoher Wirkungsgrad bei der <math>H_2SO_4</math> Rückgewinnung – geringerer Sulfat-Belastung im Abwasser</li> <li>- Durch Rückführung des ersten Teils des Spülwassers in den Vorlagebehälter, kann die benötigte Spülwassermenge um 50 % reduziert werden</li> <li>- Zum Rückspülen wird Wasser verwendet</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rückspülung zur Regeneration notwendig</li> <li>- Halbkonzentrat muss behandelt oder entsorgt werden</li> </ul>
Bezugsgröße:	300 l/h (Eloxalbaddurchsatz)	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 700.-	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,66.-

### Biologische Reinigung des Entfettungsbades:

Prinzip:	Unterschiedliche Populationen an Mikroorganismen werden in einem Bioreaktor eingesetzt, um eingeschleppte Fette und Öle biologisch zu verarbeiten.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsparung Frischsäure: 25 %</li> <li>- Keine Entsorgungskosten für das Entfettungsbad</li> <li>- Kein Neuansatz notwendig</li> <li>- Höhere Oberflächenqualität</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betriebsmittel: Zusatz von Nährlösungen</li> <li>- Spülbecken nach Entfettung notwendig</li> </ul>
Bezugsgröße:	Abhängig vom Fett- bzw. Ölinput: 25 g Öl/Stunde	
Investitionskosten (25 Gramm Öl/h): € 80.000.-	Betriebskosten pro 25 g/Betriebsstunde: € 0.53.- im 1-Schicht-Betrieb € 0.31.- im 2-Schicht-Betrieb	

### VE-Wasser: Umkehrosmose

Prinzip:	Über eine Membrantrennanlage werden unter Aufbringung eines hohen Drucks fast alle Salzionen entfernt. Ziel ist die Verbesserung der Spülergebnisse im Prozess	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Spülqualität im Prozess</li> <li>- Keine weiteren Chemikalien notwendig</li> <li>- Bei eigenem Brunnen ist die Anlage im Betrieb billiger als Ionentauscher-Anlage</li> <li>- Leitfähigkeit &lt; 1 µS/cm bei 2-stufiger und zwischen 10 und 30 µS/cm bei 1-stufiger Fahrweise</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konzentrat muss entsorgt werden</li> <li>- 5 - 15 % höher Investitionskosten als Ionentauscheranlage</li> </ul>
Bezugsgröße:	2000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h): € 970.-	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0.07.- (Wasserankauf inkl.)	

### VE-Wasser: Ionentauscher

Prinzip:	Ein Ionenaustauscherharz nimmt Fremdionen auf entsalzt somit das Wasser. Ziel ist die Verbesserung der Spülergebnisse im Prozess	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Spülqualität im Prozess</li> <li>- geringere Investitionskosten als UO-Anlage</li> <li>- Leitfähigkeit 5 µS/cm ohne Mischbett und zwischen 0,2 und 0,5 µS/cm bei Verwendung eines Mischbetts</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Regenerationschemikalien für das Harz notwendig: NaOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> </ul>
Bezugsgröße:	2000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h): € 925.-	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,22.-	

## Kerzenfilter

Prinzip:	Das zu reinigende Medium wird von außen nach innen durch einen Filter (Kerze) geleitet. Es entsteht eine Kombination von Tiefen- und Kuchenfiltration, welche vorliegende Feststoffe abscheiden kann.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kerzen von 1 – 300 µm können eingesetzt werden</li> <li>- Oberflächen + Tiefenfilterwirkung</li> <li>- Investitionskosten sehr gering</li> <li>- Kurze Standzeiten bei Patronenwechsel</li> <li>- Je niedriger der Durchfluss, desto besser die Filtratqualität bei gleicher Filterfläche</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reinigen des Filters durch Kerzentausch</li> <li>- Kerze muss entsorgt werden</li> <li>- Ein Teil des Filterschlammes bleibt im Gehäuse zurück</li> <li>- Standzeit einer Patrone: ~ 24 Std.</li> <li>- Keine zusätzliche Reinigungschemie notwendig</li> </ul>
Bezugsgröße:	2000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 29.- (Kunststoffgehäuse)	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,038.-
	€ 83.- (Edelstahlgehäuse)	

## Beutelfilter

Prinzip:	Das zu reinigende Medium wird von innen nach außen durch einen Filter (Beutel) geleitet. In dem Beutel werden vorliegende Feststoffe abgeschieden.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr billig</li> <li>- Bezogen auf Durchfluss billiger als Kerzenfilter</li> <li>- Sehr kurze Standzeiten bei Beutelwechsel (~5 min)</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine schmierigen Stoffe, da der Beutel sonst schnell verstopft</li> <li>- Beutel muss entsorgt werden</li> <li>- Keine Reinigungschemie notwendig</li> <li>- Standzeit eines Beutels: ~ 24 Std.</li> </ul>
Bezugsgröße:	2000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 68.- (Kunststoffgehäuse)	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,028.-
	€ 115.- (Edelstahlgehäuse)	

## Papierplattenfilter

Prinzip:	Das verschmutzte Medium wird über in Rahmen gespannte Papiervliese von Feststoffverunreinigungen gereinigt	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsatz von Filterhilfsmitteln möglich, dadurch Effizienzsteigerung</li> </ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Standzeit bei Wechsel des Filterpapiers größer als bei den anderen Bauformen</li> <li>- Filterpapier muss entsorgt werden</li> </ul>
Bezugsgröße:	5000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h):	€ 75.-	Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,028.-

## Bandfilter

Prinzip:	Das Medium läuft kontinuierlich über ein Filtervlies, welches nach Erreichen einer Grenzverschmutzung automatisch erneuert wird.	
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Wartungsarm</li><li>- Kontinuierliche Betriebsweise</li><li>- Leichte Reinigung</li></ul>	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"><li>- Schlammfestsorgung</li><li>- Nur für große Durchsätze</li></ul>
Bezugsgröße:	5000 l/h	
Investitionskosten (100 l/h): € 230.-		Betriebskosten pro 100 l/Betriebsstunde: € 0,05.-

## 7 PRAKTISCHE ERMITTLUNG VON ECKDATEN FÜR ZERMEG

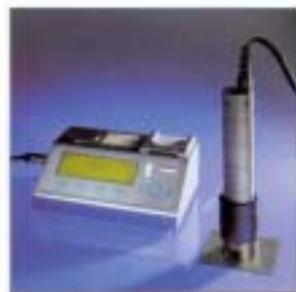
Im Rahmen von ZERMEG wurden folgende Verfahren praktisch getestet:

- Messung der Befettung und Beölung der Oberflächen der angelieferten Teile
- Filter zur Standzeitverlängerung der Entfettung
- Membranverfahren zur Standzeitverlängerung der Entfettung
- Membranverfahren zur Abtrennung von unlöslichen Metallsalzen
- Retardation zur Abtrennung von Metallsalzen
- Verdampfung von Konzentraten
- Durchmischung der Bäder

Zusätzlich ist die Betrachtung von konzentrierten Salzlösungen als mögliche Rohstoffe für andere Branchen ein wichtiges Element der Optimierung zur Vermeidung von Abfällen.

### 7.1 MESSUNG DER BEFETTUNG UND BEÖLUNG DER OBERFLÄCHEN DER ANGELIEFERTEN TEILE

Zur Messung der Beölung der Oberflächen von angelieferten Teilen wurde ein Messgerät laut Abbildung eingesetzt.



**Abbildung 43: Beölungsmessgerät**

Die Kenntnis der Beölung der Teile ist wichtig für die Dimensionierung der Entfettung und der Badpflegeeinrichtungen zur Standzeitverlängerung der Entfettung. Die Ergebnisse von Versuchen mit diesem Gerät in der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH zeigen (Kapitel 10.1), dass das Messgerät zur Bestimmung des Beölungsgrades von Blechoberflächen bei ebenen Flächen zur Messung der Beölung von Stahl und Aluminium im Messbereich von 0 bis 3 g/m<sup>2</sup> geeignet ist. Die Öle müssen dabei lösungsmittelfrei sein und dürfen kein Wasser enthalten. Das Gerät ist dann leicht zu kalibrieren und gut im Betrieb einsetzbar.

Probleme entstehen dort, wo die angelieferten Teile nicht eben sind, wo sie rohrförmig sind oder wo Öle, Fette sich in Bohrungen oder Ein- bzw. Durchstichen in den Werkstücken befinden. Dh für den praktischen Anwendungsfall in einem Lohnbetrieb mit ständig wechselnden Teilen und Geometrien der Oberflächen ist das Gerät nicht geeignet. Zur Zeit wird seitens der Lieferfirma an einem Gerät gearbeitet, das auch auf gebogenen Oberflächen messen kann.

## 7.2 FILTER ZUR STANDZEITVERLÄNGERUNG DER ENTFETTUNG

Zur Vermeidung der Verschleppung von Ölen und Fetten aus der emulgierenden Entfettung wurde eine Anlage untersucht, die Öle und Feststoffe abtrennen kann. Versuche mit einem Separator auf Basis eines Filters aus einem speziellen Filtermaterial („Sufima“) wurden in der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH unternommen.

Diese Filteranlage wurde drei Monate zur Pflege der Entfettung eingesetzt. Dabei konnte eine deutliche optische Verbesserung des Entfettungsbades festgestellt werden.

## 7.3 MEMBRANEN ZUR STANDZEITVERLÄNGERUNG DER ENTFETTUNG UND ZUR ABTRENNUNG VON UNLÖSLICHEN METALLSALZEN

Es wurden Membranen der Firma MINERWA in einer sogenannten Tubular Rotor Anlage untersucht. Diese wurden unter an sich für Membranen sehr schwierigen Bedingungen getestet. Die Tests erfolgten in einer Labor-Membranfiltrationsanlage.



**Abbildung 44: Versuchsanlage zur Membranfiltration**

Diese Tests umfassten Versuche zur Abtrennung von Metallsalzen und zur Standzeitverlängerung der Entfettung durch Abtrennung von Verunreinigungen.

Die Versuche zur Abtrennung von Metallsalzen wurden mit den Bädern der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH durchgeführt. In den Versuchen wurden Spülwässer mit einem pH-Wert von ca. 10 durch die Membran durchgesetzt. Das ausfallende Aluminiumoxid wurde abgeschieden. Der Feststoffgehalt des Permeats wurde gemessen.

Der Durchfluss durch die Membran blieb über die Versuchsdauer von drei Tagen konstant und überraschend hoch. Er lag durchschnittlich wesentlich höher als man üblicherweise bei solchen Membranen erwarten würde, was auf eine gute und wirtschaftliche Einsetzbarkeit hindeutet. Die erzielbaren Fluxwerte liegen über 200 l/m<sup>2</sup> und h.

Die Standzeit scheint durch den hohen pH-Wert nicht limitiert zu werden. Der Abscheidegrad von Aluminiumhydroxid betrug im Mittel ca. 65 %. Die Membran würde ein geeignetes Medium darstellen, um zB festes Aluminiumhydroxid aus der letzten Spüle zu entfernen. Zu beachten ist die starke Erwärmung in der TRF-Anlage aufgrund der hohen Viskosität.

Entsprechende Versuche zur Filtration der Entfettungsbäder, zur Abscheidung von Fetten etc. zeigten, dass die Membranen durch die entsprechenden Fette und Öle nicht verblocken, dh dass eine Pflege auch der Entfettungsbäder mit der getesteten Membranen möglich ist.

Auch die Entfernung des Aluminiumsulfat, dem Produkt der Neutralisation des Abwassers, kann effektiv durchgeführt werden: Der erzielte Feststoffgehalt im filtrierte Abwasser lag unter 10 mg/l.

#### **7.4 RETARDATION**

Die Säureretardation zählt zu den speziellen Ionentauscherprozessen mit einem üblicherweise günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis für den Betreiber. Die Säureretardation wird zur Trennung von freien Säuren und Metallsalzen eingesetzt. Zur Regeneration der Anlage werden im Gegensatz zur herkömmlichen Ionentauschertechnologie keine Chemikalien, wie Natronlauge oder Salzsäure, benötigt, sondern lediglich Wasser.

Die eluierten Metallsalze werden in Wasser gelöst und ausgeschleust, während die an Metallsalz verarmte Säure einer Wiederverwendung zugeführt wird. Ein Gemisch aus Säure und Metallsalzen wird von unten in eine Harzkolonne eingeleitet, dabei wird die Säure vom Harz absorbiert und die Metallsalze gehen in die wässrige Phase über. Dies führt dazu, dass aus dem oberen Harzbettausgang zunächst eine wässrige Metallsalzlösung austritt. Die Säure folgt zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Absorptionskapazität des Harzes erschöpft ist. Sobald der Säuredurchbruch im oberen Bereich des Harzbetts erfolgt, wird die Beladung gestoppt und die Fließrichtung umgekehrt. Im Gegenzug wird nun Wasser von oben ins Harzbett eingeleitet und verursacht die Desorption der Säure. Im unteren Harzbett wird eine salzverarmte Säure ausgeschleust, die dem Prozess wieder zugeführt werden kann.

Die Retardation ist nicht dazu geeignet, hohe Reinheitsgrade der Säuren zu erzeugen, sondern lediglich eine Anreicherung der störenden Metallsalze. Der Metallsalzentzug liegt daher in Abhängigkeit von Säuren und Metallen zwischen 45 und 75 %.

Durch Messung der Massenbilanz der Retardationsanlage konnte festgestellt werden (Kapitel 10.1), dass das Harz der Anlage nicht mehr funktionierte. Nach dem Ersatz konnte eine ordnungsgemäße Funktionsweise wiederhergestellt werden. Dies reduziert den Säureverlust durch diese Anlage ca. um den Faktor 10. Ab dem Zeitpunkt der Untersuchungen wurden Aufzeichnungen eingeführt, um den Wirkungsgrad der Anlage kontinuierlich zu beobachten.

## 7.5 VERDAMPFUNG VON KONZENTRATEN

Erste Eindampfversuche wurden mit Konzentraten der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH (Kapitel 10.1) in RotoVap-Laboranlagen durchgeführt.



**Abbildung 45: Eindampfversuche für Konzentrate**

Die Verdampfungsversuche zeigten, dass sich die Spülwässer besonders nach dem Beizen gut eindampfen lassen, im Extremfall hin bis zu einem pulverförmigen Produkt, bestehend aus Aluminiumhydroxid.

Beim Verdampfen in einer Pilotanlage sind folgende praktische Probleme aufgetreten:

Die Destillatphase besteht aus beinahe reinem Wasser, das allerdings noch Spuren von Kohlenwasserstoffen enthält. Sie variieren sowohl nach Menge, als auch nach Qualität – offensichtlich in Abhängigkeit der eingesetzten Öle und Fette. Diese Kohlenwasserstoffe dürften eine benzinartige Fraktion darstellen.

Diese Beobachtung erscheint vor allem auch deswegen prioritär, um zu gewährleisten, dass falls Beizkonzentrat bzw. Rückstände aus einer Eindampfanlage in Zukunft als Produkt abgegeben werden sollen, ein möglichst niedriger Gehalt an Kohlenwasserstoffen zu gewährleisten sein wird.

Zusätzlich ist beim Verdampfen zu beachten, dass es offenbar bei der Verdampfung der Spülwässer zu einem erheblichen Siedeverzug kommt.

Dies führt dann zu einem schlagartigen Verdampfen und damit zu einer Neigung zum Überschäumen, entsprechend müssen mögliche Verdampfer mit einem entsprechenden Dampfraum und Tröpfchenabscheider ausgestattet sein.

## 7.6 DURCHMISCHUNG DER BÄDER

Durch den Einsatz einer handelsüblichen pH-Elektrode und einer handelsüblichen Leitfähigkeitsmessungselektrode wurden Konzentrationsprofile der Spülen nach der Beize und nach dem Eloxalbad in der Anodisieranstalt Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH aufgenommen.

Dabei konnte eine ausgeprägte Schichtung in den Wannen identifiziert werden, sowohl was die Temperatur, als auch die Leitfähigkeit und den pH-Wert betrifft. Dies zeigt einerseits die Notwendigkeit solcher Messungen regelmäßig im Betrieb, um die Bildung solcher unerwünschter Profile regelmäßig aufzuzeigen und entsprechende Maßnahmen zur besseren Mischung der Spülen zu setzen.

Die schlechte Durchmischung der Spülen hat vor allem nach der Beize im betrachteten Anodisierbetrieb zur Folge, dass sich ein Bodensatz aus Aluminiumhydroxidschlamm und Natronlauge bildet, der aus der Spüle praktisch nicht mehr ausgetragen wird und somit die Spülwirkung verschlechtert.

Für die Verbesserung der Spültechnik ist es weiters notwendig, dafür zu sorgen, dass eine stärkere Stufung der Konzentrationen beim Spülen erreicht wird, da aufgrund der hohen Viskosität des ausgeschleppten Flüssigkeitsfilms mit frischem Wasser wegen des hohen Konzentrationsunterschiedes und der Dicke der Schicht kein guter Spüleffekt zu erzielen ist.

Im konkreten Fall ließe sich die Spültechnik durch den Einsatz einer Standspüle nach dem Beizen vor einer Spülkaskade verbessern, um so stufenweise mit ähnlichen Prozesslösungen zu spülen um so den Spüleffekt und die Spülgeschwindigkeit zu verbessern.

## 8 ANSÄTZE ZUR VERWERTUNG

### 8.1 DERZEITIGE VERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR GALVANIKSCHLÄMME

Vor dem Hintergrund des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und in Anbetracht der hohen Entsorgungskosten für Galvanikschlämme ist die Verwertung der Galvanikschlämme sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht erstrebenswert. Wie die Untersuchungen sowohl in Deutschland als auch in Österreich gezeigt haben, werden bei weitem nicht alle Möglichkeiten einer stofflichen Verwertung für Schlämme ausgeschöpft.

Dieser Umstand ist im wesentlichen auf ein Informationsdefizit bezüglich der Verwertungsmöglichkeiten für Galvanikschlämme zurückzuführen. Es hat sich bei den Betriebsuntersuchungen gezeigt, dass teilweise überhaupt nicht oder erst seit kurzer Zeit seitens der Betriebe nach Alternativen zur Deponierung gesucht wird.

Die Betriebe benötigen eine Hilfestellung bei der Suche nach Verwertungsmöglichkeiten für die im Betrieb anfallenden Schlämme, um zu erreichen, dass möglichst alle Schlämme, die von entsprechenden Betrieben zur Verwertung angenommen werden können, auch dorthin verbracht werden.<sup>35</sup>

Hier werden daher die verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten sowie die allgemeinen Voraussetzungen für die Verwertbarkeit kurz vorgestellt.

Die verfügbaren Verwertungsverfahren für Galvanikschlämme lassen sich entsprechend der Zielsetzung der jeweiligen Verfahren grob in 2 Kategorien einteilen. An erster Stelle sind hier die Verfahren zu nennen, die darauf ausgerichtet sind, den Metallanteil im Schlamm in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen. Diese Verfahren sollten bei der Prüfung der Verwertbarkeit Vorrang genießen. Verfahren zur Metallrückgewinnung lassen sich in zwei grundlegend verschiedene Verfahrenstypen einteilen:

- die pyrometallurgische und
- die hydrometallurgische Aufbereitung der Schlämme

Grundsätzlich gilt, dass ein Galvanikschlamm bestimmte Voraussetzungen erfüllen muss, damit er von einem Verwerterbetrieb angenommen wird. Die Anforderungen der Verwerter beziehen sich hierbei zum einen auf den Mindestwertstoffgehalt und zum anderen auf den maximalen Gehalt an Stoffen im Schlamm, die für den jeweiligen Verwertungsprozess störend sind. Als Anhaltspunkt für den Abfallerzeuger werden in diesem Zusammenhang von den Verwertungsbetrieben Anforderungsprofile in Form von Richtwertanalysen für Galvanikschlämme herausgegeben. Durch den Abgleich der Galvanikschlamm- und Richtwertanalyse kann der Abfallerzeuger abschätzen, ob für seinen Schlamm prinzipiell die Möglichkeit der Verwertung besteht. Da es sich bei den in der Richtwertanalyse aufgelisteten

---

<sup>35</sup> Resume von Dr. Waginger und Ing. Görlich bei der Präsentation der Ergebnisse der „Umsetzungsinitiative Oberflächentechnik“ 2002

Konzentrationen für verschiedene Parameter lediglich um Eckwerte handelt, benötigt der Verwerterbetrieb eine Vollanalyse des Schlammes, um letztlich definitiv entscheiden zu können, ob und zu welchen Konditionen die Verwertung möglich ist. Diese Analyse wird von einigen Verwertern kostenlos angeboten.

Die Kosten für die Verwertung sind weit gestreut. Je nach Zusammensetzung und insbesondere in Abhängigkeit von der im Schlamm vorliegenden Metallart und -menge können auf der einen Seite sogar Erlöse für den Schlamm erzielt werden, auf der anderen Seite können aber auch Kosten entstehen.

Ist ein Schlamm zunächst einmal nicht verwertbar, so sollte der jeweilige Betrieb sich vom Verwerter genau erklären lassen, woran das liegt, und nicht sofort aufgeben. Der Betrieb sollte auch Kontakt zur Wirtschaftskammer und zu den entsprechenden Abfallbörsen aufnehmen.<sup>36</sup> Insbesondere wenn die Verwertung an einigen Störstoffen scheitert, sollte jeder Betrieb nach Möglichkeiten (zB. Teilstrombehandlung, Substitution) suchen, die Konzentration dieser Störstoffe im Schlamm zu reduzieren.

## **8.2 PYROMETALLURGISCHE VERWERTUNG VON GALVANIKSCHLÄMMEN**

In Metallhütten können Galvanikschlämme prinzipiell als Ersatz für natürliche Rohstoffe (Erze) eingesetzt werden. Vor allem bei Hütten neueren Datums ist die Behandlung von Galvanikschlämmen deshalb schon in die Betriebserlaubnis aufgenommen. Für die Metallhütten, die als Galvanikschlammverwerter auftreten, ist die Verwertung meist nur ein Zusatzgeschäft. Das Hauptgeschäft liegt im normalen Betrieb der Hütte mit Metallerzen oder Metallschrott.

Damit ein Schlamm eingesetzt werden kann, muss er einen bestimmten in der Richtwertanalyse vorgegebenen Mindestwertmetallgehalt aufweisen. Außerdem dürfen die sonstigen im Schlamm vorkommenden Stoffe (zB diverse Schwermetalle, Organik, organische Chromverbindungen, Calcium) den normalen Betrieb der Hütte nicht stören. Die von den Hütten veröffentlichten Richtwerte für die jeweiligen Störstoffe lassen einen Spielraum zu, da der Schlamm zur Einhaltung dieser Werte in der Regel mit anderem Material verschnitten wird. Je höher der Störstoffgehalt und je niedriger der Wertmetallgehalt im Schlamm ist, desto mehr muss der Abfallerzeuger für die Verwertung bezahlen. Übersteigt der Störstoffgehalt eine von der Metallhütte nicht mehr akzeptierte Grenze, wird die Verwertung abgelehnt.

Neben der hüttentechnischen Verarbeitung von Galvanikschlämmen gibt es weiter pyrometallurgische Verfahren, wie das Wälzrohr- oder Plasma-Schmelz-Verfahren, die sich jedoch grundlegend von der hüttentechnischen Schlammverwertung unterscheiden.

---

<sup>36</sup> [www.wkstmk.at/service/pep-module/urecht/umwelt\\_abfallboerse.htm](http://www.wkstmk.at/service/pep-module/urecht/umwelt_abfallboerse.htm)  
[www.abfallboerse.de](http://www.abfallboerse.de)  
[www.abfallboerse.ch](http://www.abfallboerse.ch)  
[www.wko.at/ooe/abfallboerse.htm](http://www.wko.at/ooe/abfallboerse.htm)

Die Bestandteile des Galvanikschlammes verlassen den Prozess in Form von Metallen, als Schlacke sowie in Form von gasförmigen Emissionen. Die im Schlamm enthaltenen Schadstoffe werden entweder eingebunden und immobilisiert in der Schlacke oder gelangen als Abbauprodukte mit den Emissionen in die Luft.

### **8.3 HYDROMETALLURGISCHE VERWERTUNG VON GALVANIKSCHLÄMMEN**

Bei der hydrometallurgischen Aufbereitung erfolgt die Rückgewinnung der Metalle aus den Galvanikschlämmen über ein nasschemisches Verfahren. Im Gegensatz zu den pyrometallurgischen Verfahren wurden diese speziell für die Aufarbeitung von Sekundärrohstoffen entwickelt, sind jedoch in den meisten Fällen nicht über die Erprobung im Labormaßstab hinausgekommen.

Zu diesen hydrometallurgischen Verfahren zählen der Goldschmidt-Prozess, der MAR-Prozess, der TNO-Prozess sowie das Verfahren des ZVSMM. Allen Verfahren gemeinsam ist die selektive Rücklösung der im Schlamm vorliegenden schwerlöslichen Schwermetallverbindungen. Die Metalle werden entweder durch Extraktion, selektive Fällung oder Elektrolyse zurückgewonnen. Daneben besteht grundsätzlich das Problem, dass Chrom schon in geringen Mengen (im Bereich von 1 %) den Prozess erheblich stört und damit undurchführbar macht.

Da bei dieser Form der Behandlung aus einem Schlamm verschiedene Metalle gezielt abgeschieden werden können, ist hier prinzipiell auch die Verwertung von Mischmetallschlämmen möglich. Allerdings sind die nasschemischen Verfahren aus ökologischer Sicht kritisch zu betrachten, da hier mit einer erheblichen Menge an Behandlungskemikalien gearbeitet wird und zum Teil mehr Rückstände anfallen als beseitigt werden.

### **8.4 VERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN VON KONZENTRATEN**

Metallsalzlösungen werden in verschiedenen Prozessen als Rohstoffe eingesetzt. Die Tabelle fasst Verwendungsmöglichkeiten für Eisenchlorid, Eisensulfat, Aluminiumhydroxid, Aluminiumsulfat und Aluminiumchlorid zusammen. Die Angaben stammen aus einer Internetrecherche der Autoren.

	Mögliche Verwertung
Eisenchlorid	Ätzen von Kupfer, Abwasserbehandlung, Oxidationsmittel in der Textilindustrie, Herstellung von Farbstoffen, Herstellung von Kohleelektroden, Irisieren von Gläsern
Eisensulfat	Titandioxidherstellung, Wasserbehandlung, Gerberei, Chromatreduzierung in Zement
Aluminiumhydroxid	Aluminiumherstellung, Flammschutzmittel, Konservierungsmittel, Füllstoff, Zementzuschlagstoff
Aluminiumsulfat	Abwasserbehandlung, Papierindustrie, Schaumglasherstellung, Ledergerbung, Füllstoff für synthetischen Gummi
Aluminiumchlorid	Petrochemische Industrie

Die folgenden Preisangaben für eine externe Verwertung können als Orientierung dienen, um für den eigenen Betrieb zu überlegen, ob sich eine externe Verwertung lohnt. Diese Kosten müssen den für den eigenen Schlamm anfallenden Kosten gegenübergestellt werden (Chemikalienkosten für die Abwasserbehandlung, Entsorgungskosten für den Schlamm).

Die Entsorgungspreise schwankten in Österreich 2001 für die Entsorgung von Mischschlamm zwischen 80,- und 220,- Euro pro Tonne.

Die Entsorgungspreise für Altsäuren bewegen sich zwischen 50,- und 80,- Euro pro Tonne, die für Altlaugen um die 250,- Euro pro Tonne.

Laut Auskunft von Entsorgungsunternehmen hängen die Entsorgungskosten einerseits von den Inhaltsstoffen der Abfälle sowie vom Transportaufwand und andererseits von der Marktlage ab.

In Österreich sind folgende Firmen in der Verarbeitung von Konzentraten tätig:

**Neuber** (Neuber GesmbH, Bahnstraße 13, 2353 Guntramsdorf  
Telefon: 02236/53581-0, Fax: 02236/52283)

**Donauchem** (Donauchem HandelsgesmbH, Chlorfabrik 1, 9371 Brückl  
Telefon: 04214/2606, Fax: 04214/2636)

**Ögussa** (Wien, Gumpendorfer Straße 85, A 1060 Wien  
Telefon: +43 1 59961-225, Fax +43 1 59961-310)

## 9 BEWERTUNG

### 9.1 FINANZIELLE BEWERTUNG VON PROZESSÄNDERUNGEN

Die Amortisationsrechnung (auch: Kapitalrückfluss-, Pay-Back-, Pay-Off- oder Pay-Out-Rechnung) ermittelt als Entscheidungskriterium zur Investitionsbeurteilung die Amortisationsdauer. Diese gibt den Zeitraum an, ab dem die Einnahmen durch die Investition die Ausgaben übersteigen. Dieser Wert wird in der Praxis vielfach zur Abschätzung des Risikos einer Investition verwendet. Man unterstellt ein umso größeres Risiko, je näher sich die Amortisationsdauer der Gesamtlebensdauer der Investition annähert, da dann die dem Investitionsprojekt zugehörige Einnahmenreihe länger mit Sicherheit anfallen muss und die Prognosesicherheit zurück geht. Somit stellt die Amortisationsdauer auch einen kritischen Wert dar, der eine Unter- oder Mindestgrenze bezeichnet, denn sie ist der kritische Zeitraum, über den eine Investition mindestens laufen muss, um sich bezahlt zu machen.

Zur Berechnung der Amortisationsdauer sind die (Anschaffungs-)Auszahlungen und die Einzahlungen der Investition(en) zu ermitteln. Im einfachsten Fall wird sie durch den Ausdruck

$$\text{Amortisationszeit} = (\text{Anschaffungsauszahlungen} / \text{durchschnittlicher jährlicher Einnahmenüberschuss})$$

bestimmt. Hierbei wird der Einnahmenüberschuss im Falle einer Investition zur Änderung einer bestehenden Anlage dadurch ermittelt, dass von den rechnerischen Einsparungen für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Wasser, Energie, Arbeitszeit zusätzliche Aufwendungen für Instandhaltung, Energie etc. abgezogen werden.

Falls sich die jährlichen Einzahlungsüberschüsse stark unterscheiden, sollte die Amortisationszeit besser durch eine Rechnung mit kumulierten Auszahlungen und Einzahlungen ermittelt werden. Auch eine Berücksichtigung von Barwerten (dynamische Amortisationsdauer) führt zu aussagefähigeren Ergebnissen.

Zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit kann man zwei Fälle unterscheiden:

Bei der Vorgabe von Höchstamortisationszeiten gilt: Die Investition ist vorteilhaft, wenn ihre statische Amortisationszeit diese Höchstamortisationszeit nicht überschreitet. Oftmals werden statische Amortisationszeiten zwischen zwei und vier Jahren von Projekten zur Prozessverbesserung gefordert.

Beim Vergleich zweier Investitionen gilt: Die Investition ist vorteilhafter, deren Amortisationszeit geringer ist.

Die Vorteile der Amortisationsrechnung sind:

- Einfachheit der Errechnung der Amortisationszeit
- Anschaulichkeit
- Funktion als Risikokriterium (zusätzlich zu Erfolgskriterien)
- Amortisationszeit als kritischer Wert für die Nutzungsdauer (auch für Sensitivitätsanalyse geeignet)

Folgende Nachteile dürfen nicht unberücksichtigt bleiben:

- Keine Berücksichtigung der Restlebensdauer und der Gewinnentwicklung nach Ablauf der Amortisationszeit
- Bei statischer Amortisationsrechnung keine Berücksichtigung der zeitlichen Unterschiede im Anfall der Rückflüsse
- Keine Berücksichtigung von Abbruch- oder Entsorgungszahlungen bei statischer Amortisationsrechnung
- Vergleich von unterschiedlichen Basisinvestitionen, ohne Annahmen über die Verzinsung von Differenzbeträgen
- Keine Berücksichtigung der Finanzierungsseite

Wegen der Einfachheit der Berechnung und der angestrebten kurzen Zeiträume findet die statische Amortisationsrechnung breite Anwendung zur Bewertung von Prozessänderungen.

## **9.2 BEWERTUNG DER NACHHALTIGKEIT<sup>37</sup>**

### **9.2.1 LEITPRINZIPIEN DER BEWERTUNG**

Die Leitprinzipien einer nachhaltigen Wirtschaftsweise bedeuten in der Praxis<sup>38</sup>:

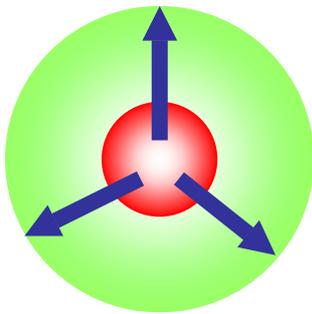
- Konsequente Dienstleistungsorientierung durch Kundenberatung
- Umsetzung des Öko-Effizienzprinzips durch Abfall- und Emissionsvermeidung
- Nutzung erneuerbarer Ressourcen, zB zur Verpackung
- Rezyklierbare Produkte durch Auswahl entsprechender Stoffe
- Einpassung, Flexibilität und Adaptionfähigkeit durch ständigen Kontakt mit Anrainern, Behörden und Forschungsinstituten
- Prinzip der Risikovorsorge und Fehlertoleranz durch Arbeitsplatzevaluierung, Umweltvorsorge, ökologische Beschaffung, Ausbildungsprogramm, etc.
- Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität durch höchste Qualifizierung der Mitarbeiter und langfristige Steigerung der Umsatzes

---

<sup>37</sup> Angepasst an die Kriterien und Fragen, die zur Bewertung von neuen Produkten und Dienstleistung im Rahmen des Projektes „Öko-effiziente Produktdienstleistungskonzepte“ im Rahmen der Fabrik der Zukunft gemeinsam von SERI, IHS, Faktor10 Institut, IÖW, JOINTS, STENUM, dem Institut für Verfahrenstechnik der TU Graz und dem Institut für Innovationsmanagement der Universität Graz entwickelt wurden.

<sup>38</sup> Lang, R., Jud, T., Paula, M., Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, BMWV, Wien, 1999

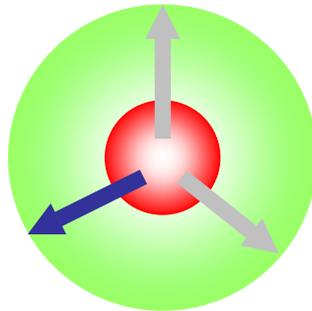
Daraus ergibt sich auf betrieblicher Ebene ein Bündel von Zielen, das sich in drei Dimensionen zusammenfassen lässt:



- Ökologische Ziele
- Wirtschaftliche Ziele
- Soziale Ziele

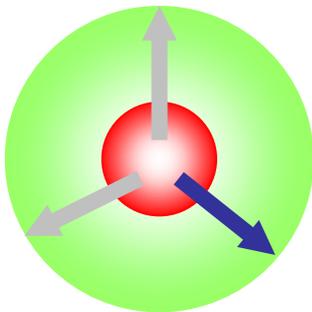
Diese werden im folgenden detailliert.

### 9.2.2 ÖKOLOGISCHE ZIELE



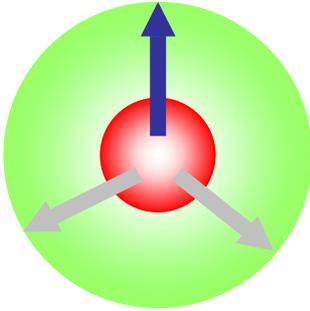
- Entwicklung eines nachhaltigen Unternehmenskonzeptes und -leitbildes
- Steigerung der Ressourceneffizienz
- Reduktion der eingesetzten Chemikalien
- Optimierung der eingesetzten Prozesse
- Reduktion des Energieeinsatzes
- Aufbau und Validierung eines Umweltmanagementsystems
- Schulung der Mitarbeiter

### 9.2.3 WIRTSCHAFTLICHE ZIELE



- Steigerung der Ressourceneffizienz
- Reduktion der Chemikalienkosten
- Ständige Optimierung der eingesetzten Prozesse
- Reduktion der Energiekosten
- Steigerung der Qualität und des Umsatzes

## 9.2.4 SOZIALE ZIELE



- Entwicklung eines nachhaltigen Unternehmenskonzeptes und -leitbildes
- Intensiver Dialog mit Kunden
- Intensiver Dialog mit Lieferanten
- Dialog mit Anrainern
- Dialog mit der Verwaltung
- Zusammenarbeit mit den regionalen Umweltbehörden
- Präsentation des Betriebes, seiner Ziele und seines Programms in der Öffentlichkeit
- Arbeitssicherheit
- Schulung der Mitarbeiter
- Aufbau und Validierung eines Umweltmanagementsystems

Die Annäherung an diese Leitprinzipien muss auf in diesen drei Dimensionen bewertet werden: der ökologischen, der ökonomischen und der sozialen Dimension.

### - Ökologische Bewertung

Hier geht es primär um die systemweiten Stoffströme, die mit dem Prozess verbunden sind. Jeder galvanische Prozess erfordert in der ein oder anderen Form die Nutzung von Gütern und Rohstoffen, deren Herstellungsaufwand, Nutzungsaufwand und Entsorgungsaufwand in die ökologische Bewertung mit aufgenommen werden sollten.

Ziel dabei ist selbstverständlich die drastische Reduktion von Stoffströmen und Ressourcenverbrauch möglichst um einen Faktor 4 - 10 bzw. analog die Erhöhung der Ressourcenproduktivität (Ökoeffizienz).

### - Ökonomische Bewertung

Hier geht es primär um die Faktoren unternehmerischer Wettbewerbsfähigkeit, Beitrag der neuen Prozesse zur Wertschöpfung, Kosten und Erträge (Gewinn), Cash Flow und ggf. Marktwert eines Unternehmens. Die Auswirkungen von neuen Prozessen auf die makroökonomische Ebene sollen ebenso in die Bewertung miteinbezogen werden.

### - Soziale Bewertung

Dabei geht es um die Auswirkungen neuer Prozesse auf die soziale Situation unterschiedlicher Bevölkerungs- oder Betroffenenengruppen. Fragen, die dabei zu behandeln sind, sind zB die folgenden: Wem bringen diese Prozesse welche Vor- bzw. Nachteile? Werden durch sie Arbeitsplätze geschaffen, gesichert oder neu organisiert (wenn ja, in welcher Weise)? Welche sonstigen Konsequenzen sind zu erwarten (zB Verlagerung von Produktion in Länder mit niedrigen Sozial- und Umweltstandards)? Ermöglichen sie den Arbeitnehmern und Kunden eine Erhöhung von Lebensqualität? Welche Konsequenzen sind für die Geschlechterverhältnisse zu erwarten? Inwieweit bieten die Prozesse Möglichkeiten

zur Beteiligung der Betroffenen bei der Planung (zB durch Kundenkonferenzen, Beteiligungsverfahren von Arbeitnehmern oder deren Vertretung)?

Die vorgeschlagene Bewertung berücksichtigt die drei Dimensionen nachhaltigen Wirtschaftens in Form von Fragen.

Die Fragen leiten zu einer vergleichenden Bewertung der bestehenden Situation und des neuen Ergebnisses an. Diese Fragen sollen die ganzheitliche Beschäftigung mit einer nachhaltigen Wirtschaftsweise anregen und ein kritisches Hinterfragen von neuen Konzepten erreichen.

Die folgende Tabelle zeigt die Fragen gemeinsam mit den Kriterien für eine qualitativ positive Bewertung. Ziel der Bewertung ist es, bereits im Konzeptstadium mögliche Schwachstellen herauszuarbeiten und frühzeitig eine Lösung im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsweise zu stimulieren.

**Tabelle 26: Fragen zur Bewertung der Prozessveränderung im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsweise**

	<b>Ökonomische Dimension einer nachhaltigen Wirtschaftsweise<sup>39</sup></b>	<b>Verbesserung im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung, wenn ...</b>
1	Erhöht sich der Kundennutzen durch das neue Anlagenkonzept?	... die Qualität steigt, die Kundenzufriedenheit steigt.
2	Vermindern sich der Preis pro Produktionseinheit für den Kunden durch das neue Anlagenkonzept?	... die Zahlungsbereitschaft des Kunden steigt oder die Kosten sinken
3	Erhöht sich der Gewinn, den das Unternehmen mit dem neuen Anlagenkonzept erwirtschaftet?	... der Gewinn steigt
4	Wie verändern sich die Gesamtzahlungen des Betriebes (inkl. Gehälter, Pensionen und andere Zahlungen) an Angestellte und Arbeiter durch das neue Anlagenkonzept?	... die Lohnsumme und der Gewinn steigen
5	Wie verhalten sich zahlbare Steuern und Abgaben durch das neue Anlagenkonzept?	... die Abgaben und der Gewinn steigen
	<b>Ökologische Dimension einer nachhaltigen Wirtschaftsweise</b>	
6	Vermindert sich der Materialverbrauch durch das neue Anlagenkonzept:	... der Materialverbrauch sinkt
a.	bei der Produktion der für das Anlagenkonzept benötigten Güter und Produkte?	
b.	bei der Vorproduktion der eingesetzten Materialien (zB Bereitstellung von Rohstoffen)?	

<sup>39</sup> Vergleichen Sie dazu auch die Ausführungen in Kapitel 9.1.

c.	während der Nutzung durch den Konsumenten?	
7	Werden zur Bereitstellung des neuen Anlagenkonzept nachwachsende Rohstoffe verwendet?	... nachwachsende Rohstoffe verwendet werden
8	Werden zur Bereitstellung des neuen Anlagenkonzept „gefährliche Stoffe“ (human- oder ökotoxische Stoffe) verwendet ?	... weniger „gefährliche Stoffe“ verwendet werden.
9	Vermindert sich der Energieverbrauch bzw. der Verbrauch elektrischer Energie durch das neue Anlagenkonzept :	... weniger Energie eingesetzt wird
a.	bei der Produktion der für das Anlagenkonzept benötigten Güter und Produkte?	
b.	bei der Vorproduktion der eingesetzten Materialien (zB Bereitstellung von Rohstoffen)?	
c.	während der Nutzung durch den Kunden?	
10	Vermindert sich der Wasserverbrauch durch das neue Anlagenkonzept :	... weniger Wasser verbraucht wird.
a.	bei der Produktion der für das Anlagenkonzept benötigten Güter und Produkte?	
b.	bei der Vorproduktion der eingesetzten Materialien (zB Bereitstellung von Rohstoffen)?	
c.	während der Nutzung durch den Kunden?	
11	Wie beurteilen Sie im Zusammenhang mit der Bereitstellung des neuen Anlagenkonzept den Flächenverbrauch:	... weniger Fläche verbraucht wird.
a.	bei der Produktion der für das Anlagenkonzept benötigten Güter und Produkte?	
b.	bei der Vorproduktion der eingesetzten Materialien (zB Bereitstellung von Rohstoffen)?	
c.	während der Nutzung durch den Kunden?	
12	Vermindern sich mit dem neuen Anlagenkonzept die Transportwege durch Lieferanten?	... weniger Transportaufwand entsteht
13	Vermindern sich mit dem neuen Anlagenkonzept die Transportwege zu den Kunden?	... weniger Transportaufwand entsteht
14	Wie verändert sich mit dem neuen Anlagenkonzept die Transportauslastung bzw. Transporteffizienz (Vermeidung von Leerfahrten, intelligente Logistik etc.)?	... weniger Transportaufwand entsteht
15	Vermindern sich durch das neue Anlagenkonzept die Abfallmengen (feste Abfälle, z.B. gewerblicher Abfall)?	... weniger Abfall entsteht.
16	Fallen durch das neue Anlagenkonzept gefährliche Abfälle an ?	... weniger gefährlicher Abfall entsteht

17	Werden durch das neue Anlagenkonzept Abfälle wieder- bzw. weiter-verwendet (oder auch wieder-/weiter-verwertet)?	... Abfälle recycelt werden können
18	Vermindern sich die Abwassermengen, die durch die Bereitstellung des neuen Anlagenkonzept entstehen?	... weniger Abwasser anfällt
19	Beurteilen Sie die mit dem neuen Anlagenkonzept zusammenhängende Abwasserqualität (zB Phosphat- oder Stickstoffbelastung)!	... weniger Abwasserbelastung entsteht
20	Beurteilen Sie die mit dem Anlagenkonzept zusammenhängende mengenmäßige Veränderung der Emission von Treibhausgasen (Kohlendioxid, Methan, etc.)!	... weniger Kohlendioxid freigesetzt wird
21	Beurteilen Sie die mit dem Anlagenkonzept zusammenhängende mengenmäßige Veränderung der Emission von Versauerungsgasen (insbesondere Schwefeldioxid und Stickoxide)!	... weniger Schwefeldioxid und Stickoxide freigesetzt werden
22	Beurteilen Sie die mit dem Anlagenkonzept zusammenhängende mengenmäßige Veränderung der Emission von Ozon-Vorläufersubstanzen (insbesondere FCKW's)!	... weniger FCKW freigesetzt werden
23	Wird im Zusammenhang mit der Einführung des neuen Anlagenkonzept eine Umweltzertifizierung für den Betrieb (EMAS, ISO 14001, Ökoprofit o.ä.) für den Betrieb angestrebt?	... eine Umweltzertifizierung erleichtert oder umgesetzt wird
24	Wird im Zusammenhang mit der Einführung des neuen Anlagenkonzept einzelne Elemente eines Umweltmanagementsystems realisiert (zB Umweltbericht, ökologische Beschaffungsrichtlinien, Produktrücknahmesysteme etc.)?	... eine Umweltzertifizierung erleichtert oder umgesetzt wird
	<b>Soziale Dimension einer nachhaltigen Wirtschaftsweise</b>	
25	Vergrößert sich mit dem neuen Anlagenkonzept die Anzahl der MitarbeiterInnen im Betrieb?	... mehr Arbeit geschaffen wird und der Ertrag steigt
26	Vergrößert sich die Anzahl der Lehrlinge/Auszubildende mit dem neuen Anlagenkonzept?	... mehr Arbeit geschaffen wird und der Ertrag steigt
27	Vergrößert sich die Anzahl der älteren (über 55 Jahre) MitarbeiterInnen mit dem neuen Anlagenkonzept?	... mehr Arbeit geschaffen wird und der Ertrag steigt
28	Wie verändert sich die Schwerbehindertenquote mit dem neuen Anlagenkonzept?	... mehr Arbeit geschaffen wird und der Ertrag steigt
29	Wird in dem Betrieb die Arbeitszufriedenheit steigen?	... wenn die Arbeitsbedingungen und die Arbeitszufriedenheit steigt

30	Vermindert sich mit der neuen Anlagenkonzept der Anteil der Arbeitsplätze mit Gehörschutzpflicht?	... wenn der Betrieb die sozialen Bedingungen am Arbeitsplatz laufend verbessert
31	Erhöht sich mit der neuen Anlagenkonzept das Lohnniveau im Vergleich zum Branchendurchschnitt?	... wenn sich Löhne und Erträge positiv entwickeln
32	Vergrößert sich mit der neuen Anlagenkonzept die Anzahl der Schulungstage pro Mitarbeiter/in?	... wenn der Betrieb in Aus- und Weiterbildung zur Know-How-Bildung investiert
33	Vergrößert sich die Anzahl der weiblichen Mitarbeiter mit dem neuen Anlagenkonzept?	... im Sinne der Gleichbehandlung gearbeitet wird
34	Entstehen neue Chancen zur Absicherung der Chancengleichheit von Männern und Frauen?	... im Sinne der Gleichbehandlung gearbeitet wird
35	Wird darauf geachtet, dass auch bei der Herstellung von Vorprodukten für die neue Anlagenkonzept in Produktionsstätten außerhalb Europas soziale und ökologische Mindeststandards (codes of conduct) eingehalten werden?	... wenn der Betrieb die sozialen Bedingungen auch bei den Zulieferern laufend verbessert
36	Werden Kunden in Produktentwicklung miteinbezogen?	... die Qualität steigt, die Kundenzufriedenheit steigt
37	Werden systematische Instrumente zur Erhebung der Kundenzufriedenheit eingesetzt?	... die Qualität steigt, die Kundenzufriedenheit steigt

Zur Analyse der ökologischen Auswirkungen der Prozessänderungen eignet sich besonders das Instrument der ganzheitlichen Bilanzierung. Entsprechende Software stellt zB die Universität Stuttgart zur Verfügung.<sup>40</sup>

<sup>40</sup> GABI, Ganzheitliche Bilanzierung, The software system for Life Cycle Engineering, IKP University of Stuttgart, [www.ikpgabi.uni-stuttgart.de](http://www.ikpgabi.uni-stuttgart.de)

## 10 FALLSTUDIEN

### 10.1 ELOXAL HEUBERGER

Die erste Fallstudie wurde in der Anodisieranstalt A. Heuberger GmbH durchgeführt.

Der Betrieb ist mit 24 Mitarbeitern ein typischer österreichischer Klein- und Mittelbetrieb. Der Mitarbeiterstand hat sich in den letzten Jahren von 15 auf 24 entwickelt. Die Produktion wurde von ursprünglich 20.000 m<sup>2</sup>/Jahr mittlerweile auf 60.000 m<sup>2</sup>/Jahr gesteigert.

Der Betrieb anodisiert Aluminiumoberflächen. Bei diesem galvanotechnischen Verfahren wird die Aluminiumoberfläche in eine Oxidschicht umgewandelt. Die so erzeugte dichte und harte Oberfläche ist mit dem Grundmaterial fest verbunden. Sie schützt das anodisierte Aluminium weitgehend gegen Korrosion und Abrieb. Nahezu alle Aluminiumlegierungen lassen sich anodisieren. Der Betrieb bearbeitet im Lohnverfahren Teile verschiedenster Herkunft. Das Spektrum umfasst Profile für Fassaden, Fenster und Solaranlagen, Bleche für Fassaden, aber im großen Umfang auch Kleinteile (Druckgussteile für Getriebeteile und Motoren, Auspuffanlagen, Teile für Fahrräder, Teile für den Feinmaschinenbau und Teile für die Medizintechnik).

Daraus ergibt sich ein entsprechend breites Spektrum an Aluminiumlegierungen, die verarbeitet werden. Die erzeugten Oxidschichten werden auch durch die Werkstoffzusammensetzung stark beeinflusst, daher muss die dem Anodisieren vorausgehende Oberflächenbehandlung auf den jeweiligen Werkstoff abgestimmt werden. Dies umfasst auch eine intensive Entfettung der Teile, die zB nach dem Drehen oder Bohren teilweise verölt in den Betrieb kommen.

Durch unterschiedliche Verfahrensvarianten lassen sich Oxidschichten herstellen, die dekorativen und bestimmten funktionellen Anforderungen genügen. Nach der Warenannahme werden die Teile – wenn vom Kunden gewünscht – geschliffen und poliert. Dies geschieht in erster Linie händisch auf einer Bandschleifmaschine.

Während dieser Arbeiten wurde ein durchschnittlicher Beölungs- und Befettungsgrad des Vormaterials, das von den Kunden kommt, ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass geschliffene und polierte Teile praktisch fett- und ölfrei sind, während mechanisch behandelte Teile und Bleche einen durchschnittlichen Ölgehalt von ca. 1 g Öl/m<sup>2</sup> Oberfläche aufwiesen.

Die Kunden wurden mit einem Fragebogen nach den bei ihnen eingesetzten Fetten und Ölen befragt, um einen Überblick über die an den Teilen anhaftenden Substanzen zu bekommen. Nur einer der ausgesendeten 160 Fragebögen wurde retourniert. Die Teile werden aber seit der Erhebung deutlich trockener angeliefert.

Nach dem Entfetten in einem leicht alkalischen Bad werden die Teile in einer E6-Beize in Natronlauge gebeizt. Dadurch wird eine metallische Oberfläche erzeugt. Diese Beize enthält verschiedene Zusatzstoffe, die verschiedene Aufgaben wie Komplexierung des Aluminium und Verhinderung von Steinbildung erfüllen. Diese Stoffe sind teilweise oxidierbar und täuschen so im Spülwasser CSB vor.

Nach dem Beizen werden die Teile in einer zweistufigen Spülkaskade mit Spritzkränzen gespült.

Dies ist ein kritischer Prozess, da die anhaftende Beize vollständig und relativ rasch von den Werkstücken entfernt werden muss, um sogenanntes Nachbeizen zu vermeiden, was zu ungleichmäßigen Oberflächen führen würde. Da die Beize sehr viskos ist, haftet ein relativ dicker Flüssigkeitsfilm an.

Der Umfang der Ausschleppungen war Gegenstand von genaueren Untersuchungen. Es zeigte sich, dass die Ausschleppungen nach der Beize deutlich höher als bisher angenommen waren – sie liegen in der Größenordnung von 450 ml/m<sup>2</sup> Oberfläche.

Nach dem Spülen werden die zu bearbeitenden Aluminiumteile in einen Elektrolyten aus Schwefelsäure eingetaucht. Durch Anlegen von Gleichstrom wird bei den anodisch geschalteten Warenteilen eine Oxidschicht erzeugt. Diese wächst durch die Umsetzung von Aluminium mit dem anodisch erzeugten Sauerstoff in das Material hinein. Mit fortschreitendem Wachstum wird die Oxidschicht auch nach außen aufgebaut. Durch unterschiedliche Elektrolyte, Stromarten und Badparameter erhalten anodisch erzeugte Oxidschichten sehr unterschiedliche Eigenschaften und genügen den vielfältigsten Ansprüchen.



**Abbildung 46: Die Eloxalanlage der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH**

Nach dem Anodisieren werden die Teile wiederum in einer zweistufigen Spülkaskade mit Spritzkränzen gespült. Die Ausschleppung liegt hier um 150 ml/m<sup>2</sup>. Anschließend können die Oxidschichten eingefärbt werden, wobei der Trend heute eindeutig zu naturbelassenen Oberflächen geht. Das geschieht durch Eintauchen in verschiedene Wirkbäder.

Als letzter Schritt erfolgt das sogenannte Verdichten. Da werden die Aluminiumteile einer Heißwasseratmosphäre ausgesetzt. Dadurch wird die Oberfläche quasi versiegelt mit einer Kombination aus Aluminiumoxiden und Aluminiumhydroxiden.

Nach der Endkontrolle werden die auszuliefernden Teile dann auf ihre technische und dekorative Qualität überprüft. Die fertigen Teile werden sorgfältig verpackt. Dabei wird versucht, rezyklierbares Verpackungsmaterial einzusetzen und Mehrwegverpackungssysteme zu verwenden.

Im Betrieb wurden detaillierte Aufzeichnungen eingeführt, die

- Wasserverbrauch
- Energieverbrauch
- Chemikalieneinsatz
- Messungen von Wirkbadkonzentrationen auf Basis täglicher Analysen
- Ablassen von Bädern
- etc.

auf täglicher Basis dokumentieren.

Durch die Arbeit (Anodisierbetrieb der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH) konnten folgende Schwachstellen aufgezeigt werden:

Die tatsächliche Ausschleppung – vor allem nach der Beize – ist höher als die theoretische.

Dies erklärt sich aus zwei Umständen. Zum einen ist die Viskosität der Beize sehr hoch, und zum anderen wurden die Teile wesentlich mehr abgebeizt als angenommen, dies resultierte aus Qualitätsproblemen, dh manche Teile wurden mehrmals gebeizt (abgebeizt), um nach Fehlern in der folgenden galvanischen Behandlung die Oberflächen wieder metallisch blank zu machen.

Durch Good Housekeeping Maßnahmen (Verbesserung der Arbeitsanweisungen und verstärkte Kontrolle des Einhaltens der Arbeitsanweisungen) sowie verstärkte Kontrolle der Badbedingungen (Temperatur und Chemikalienkonzentrationen) konnte während der Arbeiten eine Reduktion der Fehlerquote von 3,5 auf 1,0 % erreicht werden.

Die tatsächliche Spülwassermenge zur Erreichung des gewünschten Spülkriteriums lag um einen Faktor 10 über dem theoretisch mit der bestehenden Spülkonfiguration erforderlichen Wert. Durch Konzentrationsprofilmessungen in den Spülen konnte gezeigt werden, dass aufgrund der hohen Dichte der Medien und die teilweise schlecht funktionierende Umwälzung der Spülen durch Druckluft ein ausgeprägtes Konzentrationsprofil in den Spülen besteht (Kapitel 7.6).

Der Unterschied lag teilweise bei einer pH-Stufe. Das entspricht Konzentrationsunterschieden vom 10-fachen. Durch Reparatur der Badumwälzung mit Druckluft und das Einführen einer ständigen Umwälzung – auch bei Stillstand der Bäder – konnte hier eine deutliche Verbesserung in Form einer Reduktion der Konzentrationsunterschiede erreicht werden.

Im Bereich des Eloxalbades zeigte sich ebenfalls ein deutlicher Mehrverbrauch an Schwefelsäure gegenüber der Theorie. Als Ursachen für den Mehrverbrauch konnten die Badpflegeeinrichtung (Retardationsanlage) und das Abspülen über dem Eloxalbad identifiziert werden.

Dieses Abspülen mit Frischwasser hatte folgenden Grund: über dem Eloxalbad (konzentrierte Schwefelsäure) entsteht ein leichtes Schwefelsäureaerosol, das üblicherweise abgesaugt wird, um die Arbeitsplatzbedingungen zu verbessern. Da die Absauganlage in diesem Betrieb nicht bis zum Eloxalbad geführt wird, dient ein Schaumpolster, der das Eloxalbad abdeckt, dazu, diese Erosionsemission zu reduzieren. Dieser Schaumpolster muss von den ausfahrenden Teilen abgespült werden, um eine spätere Fleckenbildung auf den Teilen zu vermeiden.

Dieses Abspülen geschieht mit einem Schlauch über dem Eloxalbad, dadurch wird diesem beständig Frischwasser zugeführt. Dieses vermischt sich mit der Säure, wodurch der Säurestand steigt und von Zeit zu Zeit muss daher Säure abgelassen werden. Diese Säure wurde bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht gepuffert, sondern über die Abwasseranlage entsorgt. Dieses Abspülen wird in Zukunft über der ersten Spüle erfolgen, dadurch werden die Verdünnung und der Austrag von Säure aus dem Eloxalbad deutlich reduziert. Durch einen Umbau der Absaugung wird der Schaumpolster in Zukunft entfallen können.

Die Retardationsanlage zur Badpflege beruht auf dem Prinzip der unterschiedlichen Oberflächenabsorption von Schwefelsäure und Aluminium auf einem Harz. Dieses Harz war zu Beginn der Arbeiten sehr alt und wurde ersetzt. Dadurch konnte eine deutliche Verbesserung der Funktionsweise der Anlage erreicht werden, was zu einem deutlich verminderten Säureaustrag führte.

Durch diese beiden Maßnahmen gelang es, den Schwefelsäureverbrauch beinahe zu halbieren.

Ansatzpunkte für weitere Arbeiten waren der Ersatz der bestehenden Gleichrichter durch solche mit Kreislaufkühlung.

Um das umzusetzen, wurden Angebote eingeholt, um die Gleichrichter durch neue mit integrierten Kältemaschinen zu ersetzen. Durch den Umbau wurde die Kühlwassermenge für die Gleichrichter entkoppelt von der Spülwassermenge.

Dadurch entstand ein regelbarer, gezielt für die Spülung eingesetzter Wasserstrom. Die erforderliche Investition betrug ca. 100.000 Euro. Die Kosten für den vermiedenen Wassereinsatz betragen demgegenüber bei 60.000 m<sup>2</sup> Jahresproduktion ca. 18.000 Euro. Dies berücksichtigt nicht die Durchsatzsteigerung und die Qualitätsverbesserung.

Beide Spülkaskaden entsprechen nicht dem Stand der Technik bei Neuanlagen. Sie sollten durch vorgeschaltete Standspülen zur Chemikalienrückgewinnung ergänzt werden. Der Spüleninhalt sollte in die Wirkbäder zurückgeführt werden. Ein solches Becken würde ohne Einbau und Verrohrung ca. 16.000 Euro kosten.

Mittlerweile konnte der spezifische Wasserverbrauch durch manuelle Regelung und Kontrolle auf unter 50 l/m<sup>2</sup> reduziert werden. Aus dem Vergleich mit den idealen Spülwassermengen, die mit ZEPRA errechnet wurden, zeigt sich ein Einsparpotenzial von ca. 1.000 Euro jährlich durch den Einbau einer Standspüle nach der Beize.

Da zukünftig außerdem eine Dekapierung als zusätzliches Bad vorgesehen werden soll, wird die Standspüle aufgrund des nicht vorhandenen Platzes nicht umgesetzt werden.

Da eine weitere Reduktion der Spülwassermenge bei händischer Kontrolle nicht mehr möglich erscheint, wird zur Zeit die automatische Regelung der Spülwassermenge geplant.

Versuche mit oberflächenaktiven Badzusätzen haben gezeigt, dass sich prinzipiell die Ausschleppung aus der Beize um 20 % verringern lässt. An einer geeigneten Chemikalienzusammenstellung wird zur Zeit gearbeitet.

Durch die Berechnungen wurde es weiters möglich, die verdunstenden Badmengen in Abhängigkeit der Temperatur und Luftgeschwindigkeiten in der Halle zu berechnen. Dabei zeigt sich, dass bei den zur Zeit eingesetzten Wassermengen die Verdunstung aus den

Bädern nur einen untergeordneten Anteil an Wasserverbrauch hat. Der Einsatz eines Verdampfers erwies sich unter den gegebenen Rahmenbedingungen als nicht wirtschaftlich.

Durch die Schaffung des Bilanzierungsmodells steht nun prinzipiell ein Werkzeug zur Verfügung, relativ schnell mit wenig Aufwand die bestehende Galvaniklinie abzubilden und Stoff- und Energiebilanzen zu berechnen, die dann als Grundlage für die Suche nach weiteren Optimierungsansätzen dienen können.

Mittlerweile traten einige Qualitätsprobleme auf, die mit der angewendeten Spültechnik in Verbindung gebracht werden. Gemeinsam mit Werkstoffsachverständigen werden diese Fehler derzeit untersucht, um ihre Gründe zu erklären. Dabei wird versucht

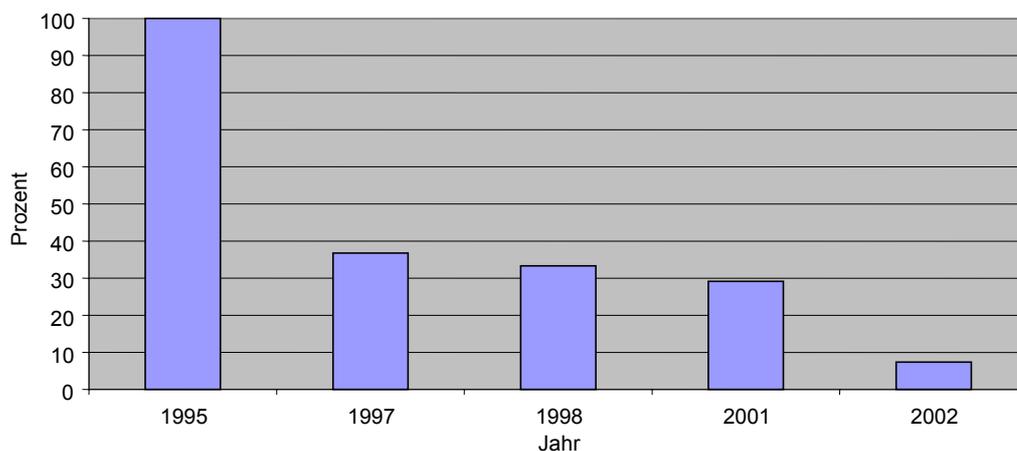
- Fehler im Vormaterial durch zB Walztexturen
- Fehler bei der mechanischen Vorbehandlung der Teile
- Beiz- und Spülfehler

exakter als bisher zu beschreiben und abzugrenzen, um Beiz- und Spülfehler zuordnen zu können. Dies dient auch als Basis für zusätzliche Trainingsaktivitäten im Betrieb.



**Abbildung 47: Spuren von Überbeizen durch Spülfehler (rechts), Fehler durch Verrutschen des Spannfutters (links)**

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass der eingeschlagene Weg richtig ist (Abbildung 48).



**Abbildung 48: Verlauf des spezifischen Wasserverbrauches bei Heuberger**

Die Reduktionen 1997 bis 2001 durch Good Housekeeping entstanden im Rahmen eines regionalen Projektes zur betrieblichen Umweltvorsorge (ÖKOPROFIT Graz) und durch den Aufbau eines Umweltmanagementsystems, die Reduktion 2002 während der Projektlaufzeit von ZERMEG). Alle Maßnahmen sind unter den Rahmenbedingungen des Betriebes wirtschaftlich.

Der Verbrauch an Säure und Lauge pro behandelter Oberfläche wurde um 50 % gesenkt!

Dies konnte durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- besseres Verständnis der Abläufe in den Bädern
- besseres Verständnis der relevanten betrieblichen Abläufe
- treffendere Modellierung und Berechnung unter Berücksichtigung von Nichtidealitäten
- damit verbundener Know-How-Aufbau im Betrieb
- Optimierung der Entfettungseffekte
- Minimierung des Metallabtrages zur Erzielung der gewünschten Effekte
- Optimierung und deutliche Verlängerung der Standzeiten
- gezielten Einsatz von neuen Technologien zur Badpflege
- Identifizierung von neuen Verwertungswegen

Zur Zeit wird mit potentiellen Abnehmern für Nebenprodukte (Aluminiumhydroxid, Aluminiumsulfat) verhandelt. Bis jetzt konnten keine zufriedenstellenden Konditionen erzielt werden.

Das Konzept für das weitere Vorgehen sieht vor, eine TRF-Membranfiltrationsanlage mit doppelter Nutzung einzusetzen. Im täglichen Betrieb soll sie aus dem möglichst reduzierten Abwasserstrom nach der Neutralisation Aluminiumsulfat abscheiden. Dieses wird einer Verwertung zugeführt. Am Wochenende wird die Anlage eingesetzt, um die Beize von Spuren von organischen Stoffen und Schwermetallverbindungen zu reinigen.

Eine kontinuierliche Reinigung der Entfettung wird über einen konventionellen Filter mit Polypropylenflocken als Filtermaterial erfolgen.

Der Einsatz eines Brüdenverdichters als Verdampfer erscheint aufgrund der Versuchserfahrungen für die Spülwässer des Betriebes nicht ideal. Ein Verdampfer mit integrierter Wärmepumpe wäre wahrscheinlich gut geeignet. In diesem Fall wäre aber mit deutlich höheren Energiekosten zu rechnen. Mit einem Verdampferlieferanten wurde ein Konzept für einen verbesserten Verdampfer erarbeitet. Dieser soll in einem Nachfolgeprojekt zur Optimierung von korrosionsbeständigen Verdampfern mit gutem Wärmeübergang getestet werden. Ein entsprechender Förderantrag wird zur Zeit vorbereitet.

Diese Fallstudie und die Ergebnisse der Umsetzung wurden im März 2003 mit dem österreichischen Wasserpreis „Neptun“ ausgezeichnet.

## 10.2 ROTOFORM

Die Firma Rotoform ist Hersteller für Druckformen und Druckvorstufenprodukte des grafischen Gewerbes:

- Farbsätze für den Bereich Verpackungsoffsetdruck und Verpackungstiefdruck und für die Tiefdruckzylinderherstellung
- Reproduktionen für den Verpackungsoffsetdruck
- Reproduktionen für den Verpackungstiefdruck
- Zylinderherstellung für den Verpackungstiefdruck

Die Produktionsbereiche umfassen:

- Vorlagen- bzw. Filmherstellung

Mit konventionellen Reproduktionstechniken und mit der Elektronischen Bildverarbeitung (EBV) können die Aufträge in allen Variationen bearbeitet werden. Über die EBV kann man auch digitale Bänder für die Zylindergravur ausgeben.

Zur Filmherstellung benötigt man Anlagen zur Filmbelichtung/Filmausgabe (EBV) und zur Kontaktherstellung. Die Firma Rotoform verfügt über eine Cromalinherstellung, um Farbabzüge der Filme herzustellen und über einen Farbplotter, der die Bilder der Magnetbänder plotten kann.

Die Filme werden extern addiert und zur Offsetplattenherstellung oder zur Zylinderätzung eingesetzt. Werden die Druckzylinder graviert, stellt man einen geeigneten Opalfilm her. Man kann aber auch ohne Opalfilm mittels digitaler Daten auf einem Magnetband gravieren. Alle Vorlagen, Filme, Kontaktabzüge, Cromaline und Andrucke werden im Archiv aufbewahrt.

Weiters kann man von den fertiggestellten Zylindern einen Andruck anfertigen, der vor der Auslieferung der Zylinder eine letzte Kontrolle darstellt.

- Zylinderherstellung

Die Firma Rotoform verwendet eine einheitliche neue Galvaniklinie zur Bearbeitung der Zylinder. Nach der Verkupferung bzw. der Verchromung werden die Zylinder mit Oberflächenbearbeitungsmaschinen behandelt.

Zur Bearbeitung der Kupferoberfläche setzt man die Verfahren Gravur und Ätzung ein. Für die Gravur stehen seit Herbst 1993 zwei Maschinen zur Verfügung. Als Vorlage dienen Opalfilme oder elektronische Datenträger. Bei der Ätzerei handelt es sich um ein autotypisches Verfahren, das aus einer Reihe von Bearbeitungsschritten besteht.

Die Abwässer aus den Galvanikanlagen und der Ätzerei werden, in alkalische und saure Lösungen getrennt, aufgefangen und in der Neutralisationsanlage entgiftet (Cr(IV)) und neutralisiert. Die bestehende Neutralisation ist Ende 1993 in Betrieb gegangen. Es handelt sich um eine Chargenbehandlung zur Chromreduktion und zur Fällung der Metalle. Sie besitzt eine Filterpresse und nachgeschaltete Ionentauscher.

Die fertiggestellten Zylinder liefert man an die Druckereien aus. Abgenützte Zylinder, die für einen neuen Auftrag angeliefert werden, müssen zuerst gereinigt und entchromt werden, bevor man die Oberfläche planfräsen kann.

In den Produktionsanlagen werden Druckformen für den Rotationstiefdruck hergestellt. Dazu werden Stahlwalzen (Abmessungen  $\varnothing = 95 - 340$  mm, Länge = 500 – 1500 mm) gereinigt, vernickelt, verkupfert, plangefräst, graviert bzw. geätzt, verchromt und geschliffen.

Nach dem Druckprozess werden die Druckformen weiter verwendet (2 Arten):

- Lagerung in der Druckerei, bis die noch einsatzfähigen Zylinder für einen Folgeauftrag gebraucht werden.
- Neubearbeitung, wenn die verchromte Oberfläche zu stark abgenützt ist oder aus anderen Gründen nicht mehr verwendet werden kann (zB Beschädigung, Änderung oder Ende des Druckauftrages).

Zur Neubearbeitung müssen die Zylinder entchromt und plangefräst werden.

Folgender Verfahrensablauf wird bei der Druckformenherstellung durchgeführt:

Die eingesetzten Rohlinge bzw die plangedrehten Zylinder werden in einzelnen Behandlungsschritten bearbeitet:

1. Entfetten und Dekapieren mit anschl. Spülung (abwasserrelevant)
2. Vernickeln mit anschließender Spülung (nur bei Rohlingen) (abwasserrelevant)
3. Verkupfern mit anschließender Spülung (abwasserrelevant)
4. Polishmaster (plandrehen)
5. Schleifen

Zwei Möglichkeiten der Weiterbehandlung bestehen:

A) Gravur

B) Autotypie

6. Gravieren

6. Reinigen mit anschl. Spülung (abwasserrelevant)

7. Ringbeschichten

8. Belichten

9. Entwickeln mit anschl. Spülung (abwasserrelevant)

10. Decken

11. Ätzen mit anschl. Spülung (abwasserrelevant)

12. Reinigen/Entschichten

13. Entfetten mit anschl. Spülung (abwasserrelevant)

14. Verchromen (abwasserfrei!)

15. Schleifen (abwasserrelevant)

16. Drucken (Kunden)

17. Entchromen mit anschl. Spülung (abwasserrelevant)

Die Druckformen müssen vor den Galvanikbädern entfettet und dekapiert werden.

Die Druckformen werden in eine Wanne eingehängt. Anschließend wird die Wanne automatisch mit Entfettungslösung gefüllt und die Druckwalze rotierend elektrolytisch gereinigt. Nach dem Reinigungsvorgang läuft das Entfettungsbad in einen Vorratsbehälter zurück und die Druckwalze wird über Spritzdüsen mit Wasser gespült. Sowohl das Spülwasser als auch die verbrauchte Entfettungslösung, die im Intervall von ca. 13 Wochen gewechselt wird, gelangen in die Neutralisation.

Im Anschluss wird der Zylinder im selben Bad mit einer Dekapierlösung besprüht und mit Wasser gespült. Sie entfernt dünnere Oberflächenfilme, die durch erhöhte Stromdichten, Temperaturen, Legierungsbestandteile oder Elektrolytkomponenten auf den Metalloberflächen entstanden oder zurückgeblieben sind. Die gesamte Dekapierlösung und das Spülwasser laufen in die Neutralisation.

Nickel wird als Sperrschicht in geringer Schichtstärke auf den Zylinder aufgebracht, da aus einem schwach sauren Kupferbad auf Stahl keine festhaftende Kupferschicht aufgetragen werden kann. Als Einsatzstoffe für das Nickelbad verwendet man festes Nickelsulfat, Ammoniumsulfat und Ammoniumchlorid, das in entmineralisiertem Wasser aufgelöst ist. Im störungsfreien Betrieb braucht das Bad nicht gewechselt werden.

Die Walze wird in die Vernickelungsanlage über der Wanne eingehängt. Aus dem Vorratsbehälter läuft die Nickellösung in die Wanne bis der Druckzylinder ein gewisses Maß in die Lösung eintaucht. Gleichzeitig wird Spannung zwischen dem Zylinder und den im Bad angeordneten Nickelanoden angelegt. Der Zylinder rotiert während des ganzen Vorganges und verbleibt eine gewisse Zeit (je nach Durchmesser des Zylinders) 40 – 80 min im Bad, sodass eine Schichtdicke von ca. 3 µm erreicht wird.

Anschließend läuft der Elektrolyt wieder ab, die Wanne wird automatisch abgedeckt, um die Nickellösung nicht zu verdünnen und die Druckwalze wird über Spritzdüsen mit Wasser gespült. Das Wasser wird in einer größeren Wanne, die den Zylinder und die Elektrolytwanne umgibt, aufgefangen. Das Spülwasser der Vernickelungsanlage geht in die Neutralisation.

Bei der Verkupferung werden ca. 500 µm Kupfer in zwei Schichten zu 300 und 200 µm aufgetragen. Es handelt sich dabei um ein cyanidfreies Kupferbad mit einer schwefelsauren Lösung. Das Kupfer wird zu einem kleinen Teil mit dem Kupfersulfat aufgelöst. Hauptsächlich gibt man direkt metallische Kupferstücke zu, die in großen Gitterkörben als Anoden dienen. Das Kupfer geht wegen der angelegten Gleichspannung in Lösung, dh es müssen nach und nach neue Stücke zugegeben werden.

Der Arbeitsablauf erfolgt sinngemäß wie bei der Vernickelung in eigenen Verkupferungsanlagen, mit dem Unterschied, dass das Verkupfern und das Spülen (nach dem Ablassen des Elektrolyten) in derselben Wanne stattfinden. Das Spülwasser der Verkupferungsanlagen gelangt in die Neutralisation.

Die aufgetragene Kupferschicht wird vor der Gravur bzw. vor dem Ätzen plangefräst. Das dabei verwendete Schneideöl gelangt nicht in das Abwasser, sondern wird mit den Kupferspänen entsorgt. Schneideölreste werden händisch mit einem Tuch und einem Reinigungsmittel (Ethylacetat) entfernt.

Um eine erforderliche Oberflächenrauigkeit zu erreichen, werden die plangefrästen Zylinder in der Löser-Schleifanlage geschliffen. Man verwendet ein Schleiföl, das mit dem Kupferabrieb an eine Entsorgungsfirma übergeben wird.

Ein Großteil der gefertigten Druckvorlagen (ca 80 %) wird mechanisch in die Zylinder eingraviert. Ein Diamantstichel überträgt die einzelnen Rasterpunkte direkt auf den Zylinder, wobei Fehler, wie sie bei den schwer steuerbaren chemischen Prozessen der konventionellen Ätzung auftreten, weitgehend ausgeschlossen sind. Die computergesteuerte hochpräzise Mechanik ermöglicht es auch, einen Zylinder mit genau vorherbestimmten Druckeigenschaften herzustellen. Das bedeutet auch, dass man Zylinder exakt reproduzieren kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine Abwässer anfallen.

Die Gravur ist derzeit das einzige Verfahren, das imstande ist, elektronische Rasterbilder ohne Zwischenschritt über einen Film auf den Zylinder zu bringen („Computer to Cylinder“). Aus diesen Gründen und besonders aus ökologischer Sicht wird die Gravur den zukünftigen Entwicklungen entsprechen.

Die gravierten oder geätzten Druckvorlagen werden vor dem Verchromen entfettet und dekapiert. Der Arbeitsvorgang erfolgt in der oben beschriebenen Anlage. Es werden ca. 5 µm Chrom zum Schutz der Kupferschicht aufgetragen. Der Elektrolyt besteht aus einer wässrigen Chromsäurelösung. Der Arbeitsablauf erfolgt sinngemäß wie bei der Vernickelung in einer eigenen Anlage. Es fällt kein Spülwasser an, da es zur Ergänzung der Verdunstungsverluste im Chrombad gebraucht wird (60 °C Badtemperatur).

Zur Erzielung einer definierten Oberflächenrauigkeit muss die fertige Druckvorlage geschliffen werden. Der erste Teil des dabei notwendigen Spülwassers kann mit Spuren von Chromelektrolyt verunreinigt sein und wird in der Abwasseranlage behandelt. Die Hauptmenge enthält nur mehr Metallabrieb und wird getrennt gesammelt, mechanisch filtriert und gelangt ebenfalls in die Neutralisation. 1995 wird das neutrale gefilterte Spülwasser im Kreislauf geführt werden.

Die fertigen Zylinder werden im Andruck getestet. Im Falle der Genehmigung liefert man die Druckzylinder an die Kunden, wo sie im Tiefdruckprozess eingesetzt und auch abgenützt werden. Abgenützte Zylinder werden zusammen mit den Zylindern, die nach dem Andruck nochmals korrigiert werden müssen, entchromt.

Nicht mehr gebrauchte bzw. beschädigte Druckzylinder werden vor einer weiteren Verwendung entchromt. Der Arbeitsablauf erfolgt sinngemäß wie bei der Vernickelung in einer eigenen Anlage. Als Einsatzstoff verwendet man ein Entchromungssalz, das aus einer Mischung reduzierender Salze besteht.

Bei der Produktion von Druckzylindern sind die problematischen Stoffe Kupfer, Chrom und Nickel. Der Chromkreislauf ist großteils geschlossen und das wenige über die Abluft entweichende Chrom VI wird in der Neutralisationsanlage vollständig auf Chrom III reduziert.

Über die Nickelbäder und Kupferbäder gelangt das jeweilige Sulfat in die Neutralisation und Abwasserreinigungsanlage. Da Sulfat nur schwer abgebaut werden kann, sucht die Firma nach Möglichkeiten den Sulfatanteil im Abwasser zu verringern.

Aufgrund der Daten des Anlagebauers und der Firma Rotoform wurde die Spülwassermenge pro Druckzylinder nachgerechnet. Für die Berechnung der Spritzspülen wurden Formeln aus der Literatur verwendet<sup>41</sup>. In Übereinstimmung von Theorie und Praxis ergibt sich ein durchschnittlicher Wasserbedarf von 8 - 9 l/Zylinder und Spülvorgang.

---

<sup>41</sup> J. Mohler, "Spray Rinsing", Metal Finishing, January 1975, Kapitel 6.3.1



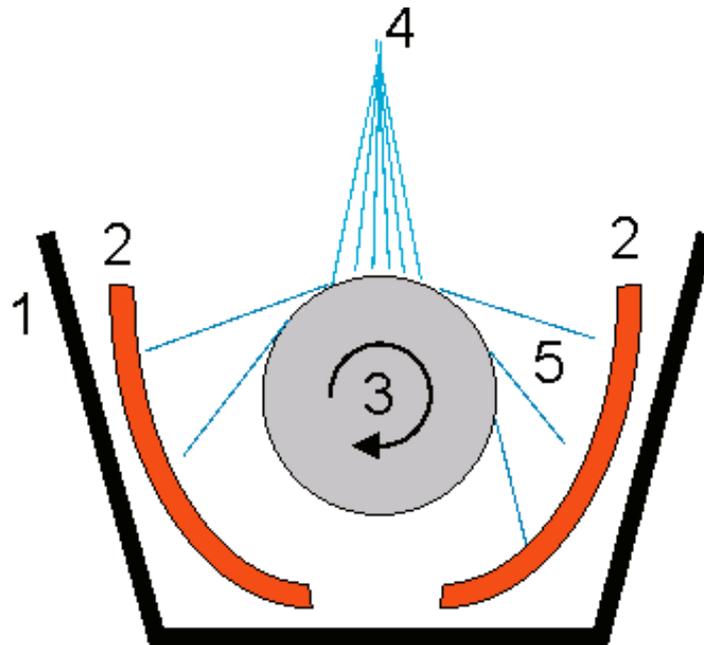
Die Darstellung in Abbildung 50 erfolgt für einen Durchsatz von einem Zylinder pro Stunde.

Wasserströme und Anlagenfließbild									
	Entfettung		Standspüle		Kaskadenspüle		Sprühspüle		
	Material: 1,8 m <sup>2</sup> /h					2,5 Stufen			
Standzeit (Für Standspülen)			0	h					
Verschleppung hinein	0	l/h	0	l/h	0	l/h	0,18	l/h	
Verschleppung heraus	-0,18	l/h	0	l/h	0	l/h	-0,18	l/h	
Wasser hinein	0	l/h	0	l/h	0,0	l/h	8,8	l/h	
Wasser heraus	0	l/h	0	l/h	0	l/h	0	l/h	
Verdunstung	-0,9	l/h	0,0	l/h	0,0	l/h	0,0	l/h	
Zu/Abwasser je Becken	1,1	l/h	0,0	l/h	0,0	l/h	-8,8	l/h	

**Abbildung 50: Quick Programm Berechnung Sprühspüle**

Bei der Analyse der Spülsysteme ergeben sich folgende Besonderheiten:

1. Es wird immer auf der gesamten Beckenbreite gespült, unabhängig von der tatsächlichen Zylinderlänge
2. Die Anlage ist laut Datenblätter für Walzen bis 1.500 mm Länge und einem Umfang bis 1.200 mm (= 1,8 m<sup>2</sup> Oberfläche) ausgelegt; der berechnete Wasserverbrauch entspricht dem Stand der Technik der späten 70-iger Jahre – in der Zwischenzeit hat die Sprühtechnik Fortschritte gemacht (verbesserter Wirkungsgrad etc.)
3. die tatsächliche durchschnittliche Zylinderoberfläche bewegt sich zwischen 0,8 und 1 m<sup>2</sup>
4. Nach Ablassen der Kupfersulfatlösung in ein Zwischenbecken findet der Spülvorgang in den Kupferbädern statt. Dabei wird aufgrund von Overspray, Fliehkräften (rotierender Zylinder) und Wegspritzen von der Oberfläche auch in einem gewissen Ausmaß die Kupferelektrode (Kupferclippings in einem Korb) ungewollt „gespült“ (siehe Abbildung 51). Als Ergebnis der Berechnung zeigte sich, dass der Beitrag des Kupfersulfats aus den Anodenkörben zur Ausschleppung ca. 90 % beträgt



**Abbildung 51: Spülvorgang in den Kupferbädern**

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Wanne des Kupferbades                            |
| 2 | Kupferelektrode (Titankörbe mit Kupferclippings) |
| 3 | Rotierende Druckzylinder                         |
| 4 | Sprühnebel                                       |
| 5 | Spritzwasser auf Kupferelektroden                |

Folgende Lösungsvorschläge werden zur Zeit einer näheren Untersuchung unterzogen:

- Sprühdüsen mit geringerem Overspray
- Reduktion des Druckes in den Sprühdüsen reduzieren
- Abdeckung der Kupferelektroden beim Spülvorgang
- Spülvorgang in einem eigenen Bad bzw. im nächsten Bad (Entfettung)
- Abstreifen (mechanisch oder mit Luft)
- Intervallspülen
- Einsatz von Plattenanoden anstelle der Anodenkörbe mit Clippings

### **10.3 VERZINKEREI MOSDORFER**

Der Spezialbetrieb Mosdorfer fertigt seit 1949 Armaturen für den Freileitungs- und Fahrleitungsbau. Mosdorfer gilt heute weltweit als anerkannter Spezialist für alle Anwendungsbereiche dieser Branche, der sich nicht nur im Hoch-, Mittel- und Niederspannungsbereich, sondern auch in der Lichtwellenleitertechnik vom ursprünglichen Schmiedebetrieb zum innovativen Partner des Energie-, Bahn- und Telekommunikationswesens entwickelt hat.

In der Feuerverzinkerei werden folgende Produkte gefertigt:

- Armaturen für Hoch-, Mittel- und Niederspannungsmasten
- Lichtwellenleiter und Erdseilenarmaturen
- Isolatorenkappen
- Dämpfungssysteme und Spiralen für Stromleitungen

Folgende Badfolge beschreibt die Prozessschritte beim Feuerverzinken:

1. Entfettung alkalisch (pH 8 - 9, Temp.: 60 °C) Gemisch aus nichtionischen und anionischen Tensiden, kontinuierliche Badpflege mittels Umwälzung und Filtrierung über Filtermaterial aus Polypropylen
2. Mischbeize Zink und Eisen
3. „reine“ Eisenbeize
4. „reine“ Eisenbeize
5. „reine“ Eisenbeize
6. Standspüle 1
7. Standspüle 2
8. „reine“ Zinkbeize
9. Flussmittel 40 °C
10. Trockenofen 4 Kammern 80 °C
11. Zinkkessel
12. Abschreckbecken

Die Bilanzierung zeigte, dass die angegebenen Messdaten für die Säure- und Metallkonzentrationen nicht korrekt sein konnten. Daher werden nun laufend Proben gezogen und analysiert. Die Arbeiten zur neuerlichen Bilanzierung liefen zur Zeit der Berichtserstellung noch.

Die Berechnung des Säureverbrauches und der Bäderstandzeit wurde mit den ZERMEG-Programmen durchgeführt. Der Durchsatz der Verzinkerei beträgt ca. 3.700 Tonnen jährlich. Daraus ergibt sich eine behandelte Oberfläche von ca. 20 m<sup>2</sup> pro Stunde.

Mit obigen Angaben ergibt sich für die Standspülen rechnerisch folgende Standzeit (Tabelle 27).

**Tabelle 27: Berechnete Standzeiten der Spülen der Firma Mosdorfer**

Spülkriterium [-]	Standzeit [h]
50	260
100	180

Aus dem Vergleich mit den tatsächlichen Standzeiten zeigt sich, dass das tatsächliche Spülkriterium gegen Ende der Standzeit deutlich geringer ist als vom Betrieb beabsichtigt.

Jährlich werden ca. 150 Tonnen Frischsäure eingekauft.

Die theoretische Berechnung des Säurebedarfs erfordert die Kenntnis der genauen Eisen- und Zinkkonzentration und des Restsäuregehaltes in den verworfenen Bädern.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Beschaffenheit der Oberfläche, da raue, verrostete Oberflächen einen höheren Säurebedarf in der Beize haben als glatte, saubere Oberflächen ohne Rost und Flugrost. Eine grobe rechnerische Überprüfung des theoretischen Säurebedarfs erfolgte unter Abschätzung fehlender Werte und ist daher nur von begrenzter Aussagekraft.

Damit ergibt sich rechnerisch ein Frischsäurebedarf von 70 Tonnen jährlich.

Trotz der bestehenden Unsicherheiten zeigt dieses Ergebnis, dass eine genauere Betrachtung und Untersuchung der Beizen notwendig und potenzialträchtig ist. Entsprechende Analysenreihen zur Bestimmung des Eisen-, Zink- und Restsäuregehaltes werden zur Zeit der Berichtserstellung gemeinsam mit dem Betrieb durchgeführt.

## 11 KONZEPT DER HOMEPAGE [WWW.ZERMEG.NET](http://WWW.ZERMEG.NET)

Die Homepage [WWW.ZERMEG.NET](http://WWW.ZERMEG.NET) bietet folgende Elemente an:

- Einstieg in die Methode von ZERMEG
- Programm, Benchmarks und Referenzdaten zur Anwendung der Methode
- Sammlung von Anwendungsbeispielen
- Verweis auf weiterführende Literatur und Internetseiten
- Austausch und Diskussion

In einem eigenen Bereich wird die Methode von ZERMEG erklärt. Dazu werden die einzelnen Stufen des Ansatzes vorgestellt und die durchzuführenden Schritte erläutert (Messen des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes, Feststellen der Verschleppung, Definition des Spülkriteriums, Berechnung des Wasserverbrauches, Berechnung der Chemikalienverbräuche, Definition möglicher externer Verwertung und Entsorgung, Definition von möglichen Rückführungen, Bewertung der Optionen, Optimierung der Abwasseranlage). Den Beschreibungen sind Referenzmaterialien unterlegt (Tabellen mit typischen Spülkriterien, typische Ausschleppverluste, Links zu möglichen Verwertern, Checklisten zur Bewertung der Optionen).

Außerdem wird ein Excelprogramm zur Berechnung von Spülwassermengen und zur Simulation von Varianten zum Download angeboten. Bei diesem Programm handelt es sich um eine vereinfachte Version des „ZERMEG-Optimierungsprogrammes“, die ohne Erläuterungen von Beratern von Interessierten leicht selbst eingesetzt werden kann, um die Spülwassermengen von im Betrieb befindlichen Anlagen hinsichtlich ihrer Optimalität zu bewerten.

Der Bereich der Anwendungsbeispiele werden zur Zeit der Projektablauf und die erzielten Ergebnisse bei der Firma Heuberger präsentiert. Der Umweltbericht der Firma, der Details zur Entwicklung von Chemikalieneinsatz, Energieeinsatz und Wasserverbrauch angibt, kann über die Homepage bestellt werden. Es ist geplant, diesen Bereich laufend zunächst um die Beispiele der Projektteilnehmer zu ergänzen.

Im Bereich „Literatur“ findet der interessierte Benutzer dann Links zu folgenden Materialien:

- BREF Notes als Referenz für den Stand der Technik im Bereich Oberflächentechnik
- Links zu Seiten mit Hintergrundinformation über Cleaner Production, Zero Emission und Umweltmanagement
- Zukünftig Vernetzung zu interessanten Anbietern von Lösungen im Bereich Oberflächentechnik, Recyclinganbietern, Verwertern
- Sonstigen für die Thematik interessanten Informationen

Als besonders wichtig für die Verbreitung des Ansatzes und die Weiterentwicklung der Methode als auch der Aktualisierung der angebotenen Information wird die Diskussionsseite angesehen. Es wird hier das Feedback von Interessierten abgefragt und die Möglichkeit zur Kontaktaufnahme mit den Projektverantwortlichen geboten.



Abbildung 52: Die Startseite von [www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net)

## 12 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit dem Optimierungsansatz ZERMEG wurde eine Methode geschaffen, mit der sich bestehende galvanische Anlagen systematisch optimieren lassen.

- 1 Ist-Analyse: Messen des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes
- 2 Ist-Analyse: Feststellen der Verschleppung
- 3 Ist-Analyse: Definition des Spülkriteriums
- 4 Vergleichsberechnung: Berechnung des Wasserverbrauches
- 5 Vergleichsberechnung: Berechnung der Chemikalienverbräuche
- 6 Definition möglicher externer Verwertung und Entsorgung
- 7 Definition von möglichen Rückführungen
- 8 Bewertung der Optionen
- 9 Optimierung der Abwasseranlage

Die Methode beginnt mit einer schrittweisen Dokumentation der Anlage in einem Fließbild. Die Erhebung des Wasserverbrauches und des Chemikalieneinsatzes bilden die Grundlage für die Zuordnung der wesentlichen Inputstoffströme zu den Prozessschritten.

Durch den Vergleich mit den idealen Materialverbräuchen lassen sich dann einzelne Optimierungsansätze ableiten:

Ausgehend von dem definierten Spülkriterium werden für das Teilespektrum und die bestehende Konfiguration mit einem eigens für diesen Zweck entwickelten Programm (ZEPRA) die minimalen Wasser- und Chemikalienverbräuche errechnet. Dieses Programm arbeitet mit einer Blackboxlogik zur Berechnung von Spülprozessen und Heuristiken für einzelne Prozessbäder.

Durch den Vergleich der Realverbräuche der einzelnen Projektschritte mit den rechnerisch ermittelten Idealwerten lassen sich Punkte aufzeigen, in denen die Ist- und Sollwerte nicht übereinstimmen.

In dieser Dokumentation werden verschiedene Lösungen zur Reduktion von Ausschleppungen von Prozessbädern, zur Verbesserung der Spültechnik, zur Badpflege zur Standzeitverlängerung und zur Rückführung von Elektrolyten beschrieben. Die wesentlichsten Ansätze werden im Detail mit ihren Einsatzbereichen und Kosten beschrieben. Im Sinne eines Expertensystems werden Auswahlkriterien für ihren Einsatz angegeben.

Das Programm wurde in drei Fallstudien in einem Eloxalbetrieb (Anodisieranstalt Heuberger), bei der Verkupferung von Druckwalzen (Rotoform) und der Beize einer Feuerverzinkerei (Mosdorfer) angewendet. In allen drei Fällen konnten deutliches Verbesserungspotenzial aufgezeigt werden.

Bei der Anodisieranstalt Heuberger konnte durch die Anwendung der Methode der spezifische Wasserverbrauch um 95 % reduziert werden. Der Verbrauch an Säure und Lauge pro behandelte Oberfläche wurde um 50 % gesenkt!.

Dies konnte durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- besseres Verständnis der Abläufe in den Bädern
- besseres Verständnis der relevanten betrieblichen Abläufe
- treffendere Modellierung und Berechnung unter Berücksichtigung von Nichtidealitäten
- damit verbundener Know-How-Aufbau im Betrieb
- Optimierung der Entfettungseffekte
- Minimierung des Metallabtrages zur Erzielung der gewünschten Effekte
- Optimierung und deutliche Verlängerung der Standzeiten
- Bessere Spülung durch bessere Durchmischung in den Bädern
- gezielten Einsatz von neuen Technologien zur Badpflege
- Identifizierung von neuen Verwertungswegen

Zur Zeit wird mit potentiellen Abnehmern für Nebenprodukte (Aluminiumhydroxid, Aluminiumsulfat) verhandelt. Bis jetzt konnten keine zufriedenstellenden Konditionen erzielt werden.

Während des Projektes wurden im Betrieb verschiedene Grundoperationen zur Badpflege und zur gezielten Gewinnung von marktfähigen Nebenprodukten praktisch getestet. Dies umfasste

- Filter zur Reinigung der Entfettung
- Membranen
- Verdampfer

Zur Verbreitung der Ergebnisse wurde die Internethomepage [www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net) angelegt. Die Homepage bietet folgende Elemente an:

- Einstieg in die Methode von ZERMEG
- Programm, Benchmarks und Referenzdaten zur Anwendung der Methode
- Sammlung von Anwendungsbeispielen
- Verweis auf weiterführende Literatur und Internetseiten
- Austausch und Diskussion

Zwischenergebnisse des Projektes wurden auf dem 8<sup>th</sup> European Roundtable on Cleaner Production Program in Cork im Oktober 2002 präsentiert.<sup>42</sup>

Die Ergebnisse der Optimierung des Prozesses der Eloxieranstalt Heuberger wurden mit dem Wasserpreis Neptun im März 2003 ausgezeichnet.

Die Projektergebnisse werden im April 2003 auf einer Tagung auf der TU Graz vorgestellt.<sup>43</sup>

---

<sup>42</sup> A benchmarking of 50 Austrian companies from the galvanizing and painting sector: current implementation of cleaner production options and active environmental management, Fresner, J., Sage, J., Wolf, P., Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Roundtable on Cleaner Production, Cork, October 2002

<sup>43</sup> Praktische Erfahrungen mit der Reduktion industriellen Wassereinsatzes in Galvaniken, J. Fresner und J. Mair, ZERI Tagung, Institut für Verfahrenstechnik, Graz, April 2003

## 13 AUSBLICK

### 13.1 VERTIEFUNG IM RAHMEN VON ZERMEG II

Anlässlich der zweiten Ausschreibung der Fabrik der Zukunft im August 2002 wurde ein Antrag auf die Fortsetzung von ZERMEG gestellt.

Hauptaugenmerk legen wir in diesem Projekt auf die Erarbeitung bisher unbekannter Grundlagen, welche von essentieller Wichtigkeit für die Entwicklung neuer Technologien zur Optimierung der Grundoperationen Entfettung und Beize sind. Der Beschreibung der Vorgänge im Entfettungsbad sowie der Abläufe in diversen Beizbädern kommt hierbei oberste Priorität zu.<sup>44</sup>

Die Funktion der Entfettung von Teilen vor der Oberflächenbehandlung ist kritisch: Sie muss anhaftende Öle und Fette, die als Konservierungsmittel oder bei der mechanischen Bearbeitung durch Schneiden, Drehen, Fräsen, Bohren, etc. als Hilfsstoffe verwendet werden, verlässlich von der Oberfläche ablösen, da sie ansonsten in die weiteren Bäder verschleppt werden. Das würde wiederum eine aufwändige Badreinigung erfordern und in vielen Fällen das Recycling oder die externe Verwertung von Konzentraten verhindern bzw. würden die Öle und Fette über die Spülwässer in das Abwasser gelangen und dort behandelt werden müssen.

Die Funktion der Beize ist kritisch, weil durch sie eine metallisch reine, gleichmäßige Oberfläche der Teile in vielen Fällen mit bestimmten technischen und optischen Eigenschaften erzielt wird. Diese Funktion ist unerlässlich, um später in den Wirkbädern zu einwandfreien Ergebnissen zu kommen. Gleichzeitig entstehen in der Beize durch den Abtrag und das Auflösen von Zunder, Spänen und Metall gelöste Metallsalze, die anschließend verwertet oder entsorgt werden müssen.

Die Wirksamkeit der Beize hängt von vielen Faktoren ab:

- Konzentrationen der eingesetzten Chemikalien (Säuren und Laugen)
- Konzentrationen verschiedener Metalle in den Bädern
- Temperaturen in den Bädern
- Eingesetzten Inhibitoren
- Umwälzung und Durchmischung der Bäder
- Konstanz der Badbedingungen.

Zur Auswirkung dieser Faktoren gibt es teilweise Literaturangaben auf der Basis von Laborversuchen. Die zugrundeliegenden Daten wurden meistens im Labor mit reinen Metallen und reinen Säuren oder Laugen gewonnen. Es konnte bereits im Rahmen von ZERMEG gezeigt werden, dass diese Daten in vielen Fällen nicht die tatsächlichen Vorgänge mit den industriell eingesetzten Legierungen und mit technisch eingesetzten Badchemiekompositionen widerspiegeln.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Als Beispiel seien hier die Verseifung von Fetten in unterschiedlichen Entfettungsbädern und deren Beeinflussung der Qualität, oder die Zusammensetzung der Beizlösung bzw. des sich meist bildenden ausgefallten Schlammes und damit die Zusammensetzung der Verschleppungen in die nachfolgenden Spülen genannt.

<sup>45</sup> Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass Inhomogenitäten und Mischungseffekte die Konzentrationen im Vergleich zu theoretisch errechneten bei idealer Mischung um den Faktor 10

Daher sollen in ZERMEG II zunächst eine verbreiterte und vertiefte Datenbasis geschaffen werden:

Durch Messungen des Metallabtrages

- im Labor mit tatsächlich eingesetzten Legierungen und Bädern
- in Anlagen von zwei Betrieben mit tatsächlich eingesetzten Legierungen und Bädern und Aufnahme von Konzentrationsprofilen

sollen im Rahmen von ZERMEG II (semi)empirische Parameter für das Bilanzmodell aus ZERMEG erarbeitet werden, um diese praktischen Abweichungen zu definieren und der Berechnung zugänglich zu machen.

Weiters soll die in ZERMEG definierte Datenerhebungsmethode im Sinne der obigen Ausführungen verfeinert werden, um anderen Betrieben ähnliche Untersuchungen in den eigenen Anlagen zu ermöglichen.

Die erarbeiteten Daten und das verbesserte Rechenprogramm ermöglichen eine Optimierung der Bäder, was zu

- einer Verlängerung der Standzeit
- einem geringeren Chemikalieneinsatz
- einem geringeren Wassereinsatz
- einer Erhöhung der Arbeitssicherheit

führt.

Daraus resultierende Maßnahmen werden gemeinsam mit den Betrieben in einem Workshop entwickelt und anschließend umgesetzt.

Dazu werden weitere, im Anschluss an erste im Rahmen des Vorläuferprojektes durchgeführte Versuche, Untersuchungen mit neuartigen Ultrafiltrationsanlagen und Abscheidern durchgeführt.

Die kontinuierliche Regeneration der Bäder führt allerdings zur Bildung von Konzentraten oder Schlämmen, welche wiederum entsorgt werden müssen.

Im Rahmen des Projekts sollen Möglichkeiten gefunden werden, Konzentrate einer Qualität zu erzeugen, die als Wertstoff verstanden und an Dritte verkauft, oder intern wieder eingesetzt werden können. Entsprechende Möglichkeiten werden gesammelt und aufbereitet.

Dazu konnte in ZERMEG gezeigt werden, dass neue Bauarten von Verdampfern und neuartige Membrantechnologien über ein beträchtliches Potenzial zur Abtrennung von Störstoffen und Nebenprodukten verfügen. Schwierigkeiten, die in der Vergangenheit einen breiten Einsatz dieser Technologien verhinderten, können durch eine genaue Kenntnis der auftretenden Effekte, durch die Auswahl geeigneter Materialien und durch Know-How beim Anfahren und dem Betrieb dieser Anlagen vermieden werden. Entsprechende Arbeiten

---

beeinflussen können. Verdunstungseffekte wichen ebenfalls um den Faktor 4 von den Literaturwerten ab. Die Eigenschaften der Beize (Dichte, Viskosität, Verschmutzungen) beeinflussen wiederum die Ausschleppung aus den Bädern und damit den Spülwasserbedarf.

werden als Weiterführung von ZERMEG in ZERMEG II anhand von chemisch verschiedenen Beizen (verschiedenen Säuren und Laugen) durchgeführt.

Durch die Elemente

- besseres Verständnis der Abläufe in den Bädern
- besseres Verständnis der relevanten betrieblichen Abläufe
- treffendere Modellierung und Berücksichtigung von Nichtidealitäten
- damit verbundener Know-how Aufbau in den Betrieben
- Optimierung der Entfettungseffekte
- Minimierung des Metallabtrages zur Erzielung der gewünschten Effekte
- Optimierung und deutliche Verlängerung der Standzeiten
- gezielten Einsatz von neuen Technologien zur Badpflege und zur Kreislaufführung
- Identifizierung von neuen Verwertungswegen

kommt es zur

- weiterer Verringerung des Wasserverbrauchs
- Entfall bisher anfallenden Schlammes
- Erzeugung eines verkauffähigen Produkts an z.B. die chemische Industrie oder kommunale Kläranlagen zur Substitution dort bisher eingesetzter eigens erzeugter Metallsalze
- Reduzierung des Ausstoßes umweltgefährdender Stoffe

Daraus resultierende Maßnahmen werden gemeinsam mit den Betrieben in einem Workshop entwickelt und anschließend umgesetzt.

## **13.2 VERBREITUNG IM RAHMEN VON ZERMEG II**

Die beiden Betriebe, die mit dem Betrieb aus dem Vorläuferprojekt und zwei Technologielieferanten gemeinsam ZERMEG II mitfinanzieren, betreiben insgesamt 6 verschiedene Tauch- und Durchlaufanlagen zur Behandlung von Stahl, Aluminium und Leiterplatten.

Allein dadurch steigert sich die Anzahl der Anwendungen der ZERMEG Methode. Auch werden damit Demonstrationsbetriebe und -anlagen für abwasserfreie Galvanikbetriebe in Österreich geschaffen.

Nach Projektende wird die verbreiterte Datenbasis von Benchmarks gemeinsam mit den Fallstudien, dem Leitfaden und einem Rechenprogramm zur Selbstanalyse auf [www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net) einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Durch die Zusammenführung von Industriebetrieben mit vergleichbaren Problemen und dem gemeinsamen Ziel vom abfall- und abwasserfreien Oberflächentechnik-Unternehmen wird der Grundlage für eine breite Diffusion der Erfahrungen und der zugrundeliegenden Idee geschaffen.

Das Interesse einer immer größeren Anzahl von Betrieben an der Methode zeigt, dass der eingeschlagene Weg richtig ist. Damit können Projekt und Projektmethode durch die Schaffung von Beispielen und durch die Präsentation der Ergebnisse die Idee eines abwasser- und abfallfreien Galvanikbetriebes weithin verbreiten.

## 14 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Spezifische Verbräuche von Entfettungsmitteln _____	9
Tabelle 2: spezifische Verbräuche von Beizmitteln _____	9
Tabelle 3: spezifische Verbräuche an Elektrolyt beim elektrochemischen Verzinken in fünf deutschen Betrieben _____	9
Tabelle 4: Die ZERMEG-Methode _____	17
Tabelle 5: Datenquellen für die Optimierung _____	21
Tabelle 6: Spezifische Oberfläche von Teilen _____	21
Tabelle 7: Wasserverbrauch der Spülkaskade nach der Beize in der Firma Heuberger ____	29
Tabelle 8: Arbeitsblätter von ZEPRA _____	32
Tabelle 9: Gesamteffizienz galvanischer Prozesse _____	41
Tabelle 10: Ausschleppungen in Abhängigkeit des Abtropfens _____	42
Tabelle 11: Dichte von Natronlauge _____	45
Tabelle 12: Dichte von Salzsäure _____	46
Tabelle 13: Dichte von Schwefelsäure _____	47
Tabelle 14: Anhaltswerte für die Ausschleppung _____	48
Tabelle 15: Anhaltswerte für die Austauschgeschwindigkeit und Abtropfzeiten _____	49
Tabelle 16: Maßnahmenkatalog zur Verringerung des Austrags von Prozessbadinhaltsstoffen _____	50
Tabelle 17: Spülkriterien für verschiedene galvanische Prozesse _____	51
Tabelle 18: Spezifische Spülwassermenge (Liter Spülwasser pro Liter ausgeschlepptem Elektrolyt) in Abhängigkeit vom vorgegebenen Spülkriterium und der Kaskadenanzahl ____	55
Tabelle 19: Vergleich des Spülwasserbedarfs verschiedener Spülkombinationen _____	55
Tabelle 20: Maßnahmenkatalog zur Verringerung des Frischwasserbedarfs beim Spülen __	58
Tabelle 21: Richtwerte für Abtragsraten von Metallen in verschiedenen Beizlösungen ____	60
Tabelle 22: Maßnahmenkatalog zur Badpflege _____	64
Tabelle 23: Maßnahmenkatalog zur Rückführung oder Rückgewinnung von Prozessbadinhaltsstoffen _____	67
Tabelle 24: Stand der Technik der Badpflege _____	69
Tabelle 25: Kenndaten von Maßnahmen zur Badpflege und Kreislaufführung _____	73
Tabelle 26: Fragen zur Bewertung der Prozessveränderung im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsweise _____	107
Tabelle 27: Berechnete Standzeiten der Spülen der Firma Mosdorfer _____	124

## 15 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Benchmarking von österreichischen Verzinkern – jährlicher spezifischer Schlammanfall	10
Abbildung 2: Benchmarking von österreichischen Verzinkern – jährlicher Schlammanfall bezogen auf die Mitarbeiterzahl	10
Abbildung 3: Benchmarking von österreichischen Anodisierbetrieben – jährlicher spezifischer Schlammanfall	11
Abbildung 4: Benchmarking von österreichischen Anodisierbetrieben – jährlicher Schlammanfall bezogen auf die Mitarbeiterzahl	11
Abbildung 5: Allgemeine Darstellung eines galvanischen Prozesses	14
Abbildung 6: Stoffstromdarstellung einer typischen Galvanik	20
Abbildung 7: Beispiel für ein Erhebungsdatenblatt zur Erfassung der täglichen Wasser- und Chemikalienverbräuche eines Galvanikbetriebes	23
Abbildung 8: Beispiel für eine Auswertung in Diagrammform von Badparametern zur täglichen Kontrolle und Ableitung von Maßnahmen	23
Abbildung 9: Quick –Programm	27
Abbildung 10: Nebenrechnungen	28
Abbildung 11: Ergebnisdarstellung im Quick-Programm	29
Abbildung 12: Mögliche Abwasserströme	30
Abbildung 13: Modellierung als Black Box	31
Abbildung 14: Programmablauf von ZEPRA	33
Abbildung 15: Datenübergabe in ZEPRA	34
Abbildung 16: Basiseingabe 1 in ZEPRA	34
Abbildung 17: Basiseingabe 2	36
Abbildung 18: Basiseingabe 3	36
Abbildung 19: Badabfolge	37
Abbildung 20: Badeingabe-Sheet	37
Abbildung 21: Ergebnis-Sheet eines Bades	38
Abbildung 22: Ausgabe-Sheet	39
Abbildung 23: Berücksichtigung der Werkstückform	44
Abbildung 24: Berücksichtigung der Werkstückfläche	44
Abbildung 25: Berücksichtigung des Einflusses der Elektrolyte	45
Abbildung 26: Berücksichtigung der Abtropfzeit	48
Abbildung 27: Berücksichtigung der Austauschgeschwindigkeit	48
Abbildung 28: Leitfähigkeitsbereich verschiedener wässriger Lösungen	52
Abbildung 29: Leitfähigkeitsbereiche von Spülwässern	52
Abbildung 30: Leitfähigkeit verschiedener verdünnter Säuren und Laugen	53

Abbildung 31: mehrstufige Spültechnik (Kaskadentechnik)	54
Abbildung 32: Spritzspülsystem: Einzelabteil mit externer Kaskadenführung und Konzentrat-Rückführung	56
Abbildung 33: Berechnung des Wasserverbrauchs einer Spritzspüle	56
Abbildung 34: Vergleichsvolumen für kleine, unregelmäßig geformte Teile	57
Abbildung 35: Ätzabtrag von Eisen in Abhängigkeit der Zusammensetzung der Salzsäurebeize	60
Abbildung 36: Filtration von Prozesslösungen	61
Abbildung 37: Funktionsprinzip einer Kristallisation	62
Abbildung 38: Chromsäurerückgewinnung mit Ionentauschern zur Reinigung von störenden Kationen	62
Abbildung 39: Prinzipschema eines Verdampfers	63
Abbildung 40: Funktionsprinzip der Elektrodialyse	63
Abbildung 41: Spezifische Wasserverdampfung aus Prozessbädern mit Absaugung	66
Abbildung 42: Einsatzbereiche von Membrananlagen und Vakuumverdampfern	87
Abbildung 43: Beölungsmessgerät	94
Abbildung 44: Versuchsanlage zur Membranfiltration	95
Abbildung 45: Eindampfversuche für Konzentrate	97
Abbildung 46: Die Eloxalanlage der Firma Eloxieranstalt A. Heuberger GmbH	112
Abbildung 47: Spuren von Überbeizen durch Spülfehler (rechts), Fehler durch Verrutschen des Spannfutters (links)	115
Abbildung 48: Verlauf des spezifischen Wasserverbrauches bei Heuberger	115
Abbildung 49: Verfahrensschema der Druckzylinderherstellung	121
Abbildung 50: Quick Programm Berechnung Sprühspüle	122
Abbildung 51: Spülvorgang in den Kupferbädern	123
Abbildung 52: Die Startseite von <a href="http://www.ZERMEG.net">www.ZERMEG.net</a>	127

## 16 LITERATUR

"Beheizen und Kühlen von wässrigen Lösungen in der Ätz-, Beiz- und Galvanotechnik" G. Mazurczak, W. Schauer, K. Frischmann

"Spray Rinsing", J. Mohler, Metal Finishing, January 1975

„Spülen Qualitätssicherung und Umweltschutz“, L. Winkler, Galvanotechnik, Umwelttechnik 85 (1994) 9

A benchmarking of 50 Austrian companies from the galvanizing and painting sector: current implementation of CP options and active environmental management, J. Fresner, J. Sage, P. Wolf, 7th European roundtable on Cleaner Production programmes, Cork, 2002

Ausschleppverluste in der Galvanotechnik, P. Kimmerl, Galvanische Berichte, Jg. 5, Heft 1, pp 15

Die Oberflächenbehandlung von Aluminium, Wernick S., Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau, 1977

Einsatz von wasserschonenden und wasservermeidenden Technologien in der Oberflächenbehandlung von Metallen mit Schwerpunkt auf Eloxieren, Michael Planasch, Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik der Technischen Universität Graz, 2003

Electroplating Engineering Handbook, H. L. Pinkerton, A. K. Graham (Ed.), p. 754, 3<sup>rd</sup> Ed. (1971)

Entwurf des deutschen Beitrags zu den besten verfügbaren Techniken bei der "Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren", AG BREF Oberflächentechnik, Berlin, 2002

Erprobung und Optimierung neuartiger Peripheriesysteme für das Gleitschleifen und Anodisieren von Werkstücken aus Aluminium, Teilvorhaben 15, Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozesslösungen, Schardt P., Franz Schneider Brakel GmbH & Co, Bonn, 03/2000

Galvanik in Rheinland-Pfalz, Informationen für den Galvanikbetrieb zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen und Abfällen, Mainz 1996

Handbuch Feuerverzinken, Peter Maaß und Peter Peißker, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig – Stuttgart, 1993

<http://WebServer2.me.mb.uni-dortmund.de/auswahlssystem/reiniger/spuelprozesse/berechnung.htm>

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Lang, R., Jud, T., Paula, M., BMWV, Wien, 1999

Industrielle Membrantrennverfahren: Theorie, praktische Anwendungen und Kosten, Seminarunterlagen - Linzer Membranseminar 2001, Samhaber W., Institut für Verfahrenstechnik, 09/2001

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on best available techniques, Surface treatment of metals and plastic materials using electrolytic or chemical process (volume of treatment vats > 30 m<sup>3</sup>), May 2002, BAT reference document, May 2002, European committee for surface treatment

Maschinen + Apparate zur Fest/Flüssigtrennung, Grundlagen – Anwendung – Technik, Vulkan-Verlag, Essen, 1991

Membranen und Membrantrennprozesse, Grundlagen und Anwendungen, Staude E., VCH Verlag, Weinheim, 1992

Ökologische und ökonomische Beurteilung und Optimierung, Teilvorhaben 14, Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozesslösungen; Prof. Fleischer G., Technische Universität Berlin, 09/2001

Reststoffvermeidung durch ein biologisches Entfettungsspülbad in einer Feuerverzinkerei, Kunz P., Henssler GmbH & Co. KG, Beilstein, Deutschland, 06/1996

Stoffflussanalyse, Johannes Fresner, Heft 4 der ÖKOPROFIT-Schriftenreihe, Umweltamt der Stadt Graz, 1998

Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozesslösungen, Teilvorhaben 8, Regenerieren der Prozesslösungen und Gewinnung stofflich verwertbarer Reststoffe bei der abtragenden Behandlung von Aluminiumwerkstoffen; Lunow, A., Kühnl U., GOEMA GmbH, 06/1998

Taschenbuch der Abwasserbehandlung, Band 1 Chemie, Hartinger, Carl Hanser Verlag, München, 1976

Taschenbuch der Abwasserbehandlung, Band 2 Technik, Hartinger, Carl Hanser Verlag, München, 1977

The Analysis and Design of Rinsing Installations, Richard A. Nagy, Pfonline

The Whys and Hows of sulfuric acid pickling and recovery, Esco Engineering, Februar 1995

Umsetzungsinitiative Oberflächentechnik, STENUM im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, 2001

Umweltcontrolling, Johannes Fresner, Heft 9 der ÖKOPROFIT-Schriftenreihe, Umweltamt der Stadt Graz, 1998

Vakuumdestillation – Differenzieren unterschiedlicher Verfahren, mo Metalloberfläche 09/97, Carl Hanser Verlag, München

Wirtschaftliche Produktion in der Galvanotechnik, Czeska B., Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau, 2002

[www.gepnet.org](http://www.gepnet.org)

[www.prepare-net.org](http://www.prepare-net.org)

[www.ZERMEG.net](http://www.ZERMEG.net)

Informationen aus Gesprächen mit einer Vielzahl von Anlagenbauern, Technologieanbietern und Consultern in den Bereichen Abwasserreinigung, Oberflächentechnik, Technologieanbietern