

Investitionen zur Verminderung von Umweltbelastungen  
BMU-Programm zur Förderung von  
Demonstrationsvorhaben

**Bundesministerium  
für Umweltschutz, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit**

## **Abschlussbericht**

KfW Aktenzeichen:  
UM-001130

# **Reduzierung des Wasserverbrauchs in der Leiterplattenindustrie durch ausgewählte Wasser- sparmaßnahmen und innovative Abwasserbehand- lungstechnologie**

**Bernfried Fleiner, Anette Kuchenmeister**

**Antragsteller:**

**SCHWEIZER ELECTRONIC AG  
Einsteinstr.10, 78713 Schramberg**

**IM AUFTRAG  
DES UMWELTBUNDESAMTES  
UND DER DEUTSCHEN AUSGLEICHSBANK**

**März 2008**

## Berichtskennblatt

Aktenzeichen: 30441-1/24	Vorhaben-Nummer: 20064
Berichtstitel: <b>Reduzierung des Wasserverbrauchs in der Leiterplattenindustrie durch ausgewählte Wassersparmaßnahmen und innovative Abwasserbehandlungstechniken</b>	
Autoren: Bernfried Fleiner, Anette Kuchenmeister	
Vorhabenbeginn: November 2002	
Vorhabenende: Dezember 2007	
Durchführende Institution: SCHWEIZER ELECTRONIC AG Werk Schramberg Einsteinstr. 10 78713 Schramberg	
Öffentlichkeitsdatum: März 2008 Seitenzahl: 37 Abbildungen: 12 Tabellen: 10 Diagramme: 9	
Fördernde Institution: Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau	
Zusätzliche Angaben: keine	
Kurzfassung: Der Wasserverbrauch in der Leiterplattenindustrie ist aufgrund der vielen Prozessschritte ein wesentlicher Bestandteil von Umweltbelastungen. Das durch die Prozesslösungen unterschiedlich kontaminierte Spülwasser muss in einer Abwasserbehandlungsanlage soweit vorbehandelt werden, dass es den gesetzlichen Anforderungen entspricht und über die öffentliche Kanalisation in eine kommunale Kläranlage abgeleitet werden kann. Ziele des Vorhabens waren, durch prozessintegrierte Technologien den Wasserverbrauch zu senken, die Spülströme so aufzutrennen und zu lenken, dass Kreislaufführung und Mehrfachverwendung möglich werden. Ein weiteres Ziel war die Schonung der Ressource Trinkwasser durch die Nutzbarmachung von Niederschlagswasser zum Einsatz als Spülwasser in der Leiterplattenfertigung. Durch die getrennte Spülwasserführung sollten innovative Abwasserbehandlungsverfahren entwickelt werden, welche bei den Prozessen entstandene Abfallprodukte zur Abwasserbehandlung einsetzen. Verwertbare Abfallprodukte tragen dazu bei, dass Stoffe nach Aufbereitung wieder in Produktkreisläufe gelangen, dass die Umwelt entlastet wird und dass wertvolle Rohstoffe, wie Metalle, geschont werden. Durch die eingesetzten Verfahren werden die gesetzten Ziele erreicht. Ein weiterer Vorteil der eingesetzten Verfahren ist eine deutliche Senkung der Betriebskosten.	
Schlagwörter: Spültechnik, Mehrfachnutzung, Regenwasser, Kupferschlamm, Membranfiltration, Zinnbehandlung, Resistpresse, Leiterplattenherstellung	
Anzahl der Berichte: 1	

## Report index sheet

File number: 30441-1/24	Project number: 20064
<b>Title of the report:</b> Reduction of water consumption in printed circuit board industry by specific water saving activities and innovative water treatment techniques	
<b>Authors:</b> Bernfried Fleiner, Anette Kuchenmeister	
<b>Start of project:</b> November 2002	
<b>End of Project:</b> December 2007	
<b>Realising organization:</b> SCHWEIZER ELECTRONIC AG Werk Schramberg Einsteinstr. 10 78713 Schramberg	
<b>Date of publication:</b> March 2008 <b>No. of pages:</b> 37 <b>Pictures:</b> 12 <b>Charts:</b> 10 <b>Diagrams:</b> 9	
<b>Supporting organization:</b> Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau	
<b>Additional information:</b> none	
<b>Abstract:</b> The water consumption in printed circuit board industry has – in view of the multiple process steps - a considerable impact on the environment. The rinsing water, with varying grades of contamination due to the different process solutions, must be pre-treated prior to discharge into a municipal sewage system, in order to comply with legal requirements. Project targets were to reduce water consumption by process integrated technologies and to split and direct the rinsing flows in order to allow circulation and multiple usage. Another target was to conserve drinking water by using rainwater as rinsing medium in printed circuit board production. Innovative waste water treatment methods were to be developed by using separate rinsing water flows which allow to reuse production waste for waste water treatment. Such recyclable waste products contribute to the reintegration of conditioned substances into product cycles, protection of our environment and saving of valuable raw materials (metals). The set targets were achieved by the applied processes. An additional advantage of these processes is a significant reduction of operational costs.	
<b>Key words:</b> Rinsing technique, multiple usage, rain water, copper sludge, diaphragm/membrane filtration, tin treatment, resist press, printed circuit board production	
<b>Number of reports:</b> 1	

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	5
1.1.	Ausgangssituation .....	5
1.2.	Ziele und Aufgabenstellung.....	5
1.3.	Kurzbeschreibung Herstellung einer einfachen Leiterplatte .....	5
2.	Verfahrensablauf Herstellung einer Leiterplatte .....	7
2.1.	Verfahren in Stichworten.....	7
2.1.1.	Beispiel Panel Plating .....	7
2.1.2.	Pattern Plating Verfahren .....	8
3.	Vorhaben .....	9
3.1.	Planung .....	9
3.2.	Genehmigungen.....	9
3.3.	Technische potentielle Lösungen .....	9
3.4.	Spültechnik und Wassersparmaßnahmen .....	10
3.4.1.	Leiterbildlinie (Verfahrensnummer E,F,G,H Kapitel 2.1) .....	10
3.4.2.	Anlagen zur galvanischen Kupferabscheidung (Galvanoautomat) .....	12
3.5.	Kühlwasserkreislaufführung über Kältetechnik .....	14
3.6.	Nutzung von Niederschlagswasser .....	14
3.7.	Teilweise realisierte innovative Abwasserbehandlungstechniken .....	16
3.7.1.	Kationentauscher Regenerationsüberwachung.....	16
3.7.2.	Oxidation mittels UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	16
3.7.3.	Verbesserung der Verwertungswege für den Metallhydroxidschlamm .....	17
3.7.4.	Selektive Behandlung edelmetallhaltiger Abwässer.....	17
3.7.5.	Selektive Behandlung zinnhaltiger Abwässer.....	18
3.7.6.	Behandlung fotoresistbeladener Abwässer .....	19
4.	Ergebnisse.....	21
4.1.	Spülen Kaskadentechnik und Mehrfachnutzung .....	21
4.1.1.	Beispiel Innenlagenlinie (E,F,G,H vgl. Kapitel 2.1).....	21
4.1.2.	Beispiel Galvanoautomat (D,R vgl. Kapitel 2.1) .....	22
4.1.3.	Zusammenfassung Wasserverbrauch aller Anlagen.....	22
4.1.4.	Abschätzung der Einsparpotentiale .....	23
4.2.	Kationentauscher Regenerationsüberwachung .....	24
4.2.1.	Rohwasserleitfähigkeit.....	24
4.2.2.	Kostenabschätzung .....	25
4.3.	Einsparung durch Nutzung von Regenwasser.....	26
4.3.1.	Regenerationen der Kationentauscher verringern.....	26
4.3.2.	Kostenabschätzung .....	26
4.4.	Kostenvorteile Nutzung saurer Ätzer (CuCl <sub>2</sub> ) bzw. andere Abfallprodukte zur Fällungsunterstützung .....	27
4.4.1.	In der Abwasseranlage allgemein.....	27
4.4.2.	Einsparungen durch geschickte Führung bei Zinnbehandlung .....	27
4.5.	Vergleich Resistentwässerung mittels Zentrifuge im Vergleich zu Resistentwässerung mittels Presse .....	28
4.5.1.	Vorversuche.....	28
4.5.2.	Pilotversuche .....	29
4.5.3.	Praxis .....	30
4.5.4.	Anfallende Entsorgungskosten Resiste.....	30
4.6.	Behandlung goldhaltige Wasser über Ionentauscher - Restgoldgehalte.....	32
4.6.1.	Goldgehalt des Harzes .....	32
4.6.2.	Goldgehalt des Auslaufs nachgeschalteter Ionentauscher .....	32
4.6.3.	Beispielhafte Kosten und Gutschriften aus der Entgoldung mit Reihenschaltung .....	33
5.	Wirtschaftliche Betrachtung der Investitionen der technisch potentiellen Lösungen .....	34
6.	Empfehlungen .....	35
7.	Anhang .....	36
7.1.	Abbildungen und Diagrammverzeichnis.....	36
7.2.	Abkürzungsverzeichnis, Glossar.....	36
7.3.	Allgemeine weiterführende Literatur .....	37
7.4.	Unterstützung durch Hersteller und Lieferanten .....	37

## 1. Einleitung

Die Firma Schweizer Electronic fertigt am Standort Schramberg Leiterplatten. Dabei handelt es sich um durchkontaktierte Leiterplatten und Mehrlagenschaltungen.

### 1.1. Ausgangssituation

Die Firma Schweizer Electronic hat am bestehenden Standort 78713 Schramberg, Einsteinstr. 10, eine neue Fertigung für hochkomplexe Mehrlagenschaltungen (Multilayer) geplant.

Aus diesem Grund wurde das Projektteam im Jahr 2001 beauftragt, bei der Planung der Prozessschritte Verfahren zur Minimierung des Spülwasserverbrauchs zu berücksichtigen. Weiterhin sollte die bestehende Abwasserbehandlungstechnik den neuen Prozessstufen angepasst und innovative Verfahren zur Abwasserbehandlung eingeführt werden, die eine hohe Verwertungsquote der anfallenden Abfallstoffe gewährleistet.

### 1.2. Ziele und Aufgabenstellung

Reduzierung des Spülwasserverbrauchs in der Leiterplattenfertigung

In der Leiterplattenfertigung werden durchschnittlich 400 – 500 l Wasser/m<sup>2</sup> gefertigte Leiterplatte verbraucht.

Um eine vertretbare Größe für die Abwasserbehandlungsanlagen zu erhalten, wurde das Ziel ausgegeben, durch integrierte Umweltschutzmaßnahmen den Spülwasserverbrauch << 300 l/m<sup>2</sup> gefertigte Leiterplatte, bzw. in eine Größenordnung um 200 l/m<sup>2</sup> zu senken.

Durch die Senkung des Wasserverbrauchs sollten mehrere Ziele erreicht werden

- Schonung der Ressource Trinkwasser
- Einsparung von Invest- und Betriebskosten im Bereich der Abwasserbehandlungstechnik

Einsatz innovativer Abwasserbehandlungstechnologien

Die Aufgabenstellung Einsatz innovativer Abwasserbehandlungstechnologien hatte das Ziel, den Anteil verwertbarer Abfälle im Betrieb zu erhöhen.

Dieses Ziel war nur durch Schaffung separater Abwasserströme mit eigenständigen Behandlungsstufen zu erreichen.

### 1.3. Kurzbeschreibung Herstellung einer einfachen Leiterplatte

Die Firma Schweizer Electronic ist ein Leiterplattenhersteller, der im Auftrag Leiterplatten (gedruckte Schaltungen) für die unterschiedlichsten industriellen Anwendungsbereiche und Kommunikationsindustrie herstellt.

Für die Herstellung einer einfachen, einseitigen Leiterplatte (LP) sind die nachfolgend beschriebenen maßgeblichen Schritte erforderlich: Zunächst werden in das kupferkaschierte Basismaterial (aus Glas/Epoxidharzgewebe) Löcher gebohrt. Anschließend wird die Platte nasschemisch gereinigt und eine leitfähige Schicht aufgebracht. Nachdem nun die Bohrungen leitfähig sind, wird die LP in einem galvanischen Kupferbad galvanisiert. Die LP ist nun auch in den Bohrlöchern verkupfert. Anschließend, nach einer erneuten Reinigung, wird Resist (photosensitiver Lack) auflaminiert, die Lackschicht durch einen Negativfilm, auf welchem die Leiterbahnstrukturen sind, belichtet und die nicht belichteten Teile nasschemisch entfernt (entwickeln). Der Resist zeigt nun das Leiterbild auf der LP. Die nicht durch den Resist geschützten Kupferpartien auf der Leiterplatte werden mittels einer Ätzlösung entfernt, anschließend wird auch der Ätzresist entfernt. Es steht nun das Leiterbild in Kupfer. Als Isolationsbeschichtung und als Korrosionsschutz wird eine weitere Lackschicht (Stopplack) im Gießverfahren aufgebracht. Auch diese wird nach dem Trocknen belichtet und entwickelt. Auf die kupfernen Leiterbahnen werden zum Schluss - je nach Kundenwunsch - Heißzinn, Nickel-Gold oder chemisch Zinn aufgebracht, so dass die Löt- bzw. Bondfähigkeit an den Kontaktstellen hergestellt ist.

Zum Abschluss wird noch die Kontur hergestellt. Die Platten werden mit Wasser nochmals gereinigt und nach dem Trocknen verpackt.

Zur Herstellung von z.B. Multilayern sind diverse oben aufgezeigte Schritte zu wiederholen. Als neuer Schritt muss noch das Verpressen der Lagen auf einer Presse durchgeführt werden. Zur Herstellung einer Leiterplatte werden, neben Energien wie Strom und Gas auch diverse Chemikalien wie Säuren (Schwefel-, Salz-, Salpetersäure) und Laugen (Natronlauge, Soda) und Metallsalzlösungen (Kupfersulfat, Zinnsulfat, Nickelsalze), organische Zusätze sowie Lacke und brennbare Lösungsmittel benötigt. Hinzu kommt noch Frischwasser, meist noch besonders aufbereitet um ein sehr reines Wasser mit geringer Leitfähigkeit zur Verfügung zu haben.

Bei der Produktion der Leiterplatten fallen die verschiedensten festen und flüssigen Abfälle sowie Abwasser an. An festen Abfällen sind dies z.B. Bohrmehl, Leiterplattenschrott und wie in jedem Betrieb auch Abfälle wie Papier und Restmüll. Flüssige Abfälle sind u.A. Resistkonzentrate und saure Ätzer. Das Abwasser fällt in den unterschiedlichsten Konzentrationen und mit den unterschiedlichsten Inhaltsstoffen an und wird in der hauseigenen Abwasseranlage entsorgt.

## 2. Verfahrensablauf Herstellung einer Leiterplatte

### 2.1. Verfahren in Stichworten

#### 2.1.1. Beispiel Panel Plating

Wichtigste Schritte für die Produktion einer Leiterplatte im Panel Plating Verfahren

Verf.Nr	Verfahren	Anlagenbezeichnung
A	Bohren des kupferkaschierten Basismaterials	Bohrmaschinen
B	Reinigen des gebohrten Basismaterials	Desmearanlage
C	Aufbringen einer leitfähigen Schicht in den Bohrlöchern	HDI-Anlage
D	Galvanisches aufbringen von Kupfer	Galvanoautomat oder Horizontalplater
E	Reinigen und anschließendes Auflaminieren von Resist	Innen oder Aussenlagenlinie - Vorreinigung
F	Belichten mit Negativfilm und Entwickeln des Resists	Innen oder Aussenlagenlinie - Entwickeln
G	Wegätzen der durch das Entwickeln freigelegten Kupferpartien	Innen oder Aussenlagenlinie - Ätzen
H	Strippen des nicht entwickelten Resists – das Leiterbild steht	Innen oder Aussenlagenlinie - Strippen
J*	Braunätzschutzschicht	Braunätzen
K	Reinigen der Leiterplatte	Bimsanlage
L	Aufbringen des Stopplackes/Trocknen	Gießlinie
M	Belichten (Positivfilm) und Entwickeln – Leiterbild steht und LP ist durch Stopplack geschützt	Stopplackentwickler
N*	Aufbringen Endoberfläche Galvanisch Gold	Galvanisch Nickel Gold
O*	Aufbringen Endoberfläche Chemisch Gold	Chemisch Nickel Gold
P*	Aufbringen Endoberfläche Chemisch Zinn	Chemisch Zinn
I* **	Aufbringen von Heißzinn	HAL
Q**	Endreinigung	Endreinigung

\* Schritt nicht in jedem Fall erforderlich

\*\* anderes Werk, nicht betrachtet

## 2.1.2. Pattern Plating Verfahren

Wichtigste Schritte für die Produktion einer Leiterplatte im Pattern Plating Verfahren

Verf.Nr	Verfahren	Anlagenbezeichnung
A	Bohren des kupferkaschierten Basismaterials	Bohrmaschinen
B	Reinigen des gebohrten Basismaterials	Desmearanlage
C	Aufbringen einer leitfähigen Schicht in den Bohrlöchern	HDI-Anlage
E	Reinigen und anschließendes Auflaminieren von Resist	Innen oder Aussenlagenlinie - Vorreinigung
F	Belichten mit Negativfilm und Entwickeln des Resists	Innen oder Aussenlagenlinie - Entwickeln
D	Galvanisches aufbringen von Kupfer	Galvanoautomat oder Horizontalplater
R	Galvanisches Aufbringen von Zinn	Galvanoautomat
S	Strippen des Resists	Alk-Ätzlinie - Strippen
T	Alkalisches wegätzen der durch das Entwickeln freigelegten Kupferpartien	Alk-Ätzlinie - Ätzen
U	Strippen des Zinn auf den Leiterbahnen- das Leiterbild steht	Alk-Ätzlinie - Zinnstripfen
K	Reinigen der Leiterplatte	Bimsanlage
L	Aufbringen des Stopplackes/Trocknen	Gießlinie
M	Belichten (Positivfilm) und Entwickeln – Leiterbild steht und LP ist durch Stopplack geschützt	Stopplackentwickler
N*	Aufbringen Endoberfläche Galvanisch Gold	Galvanisch Nickel Gold
O*	Aufbringen Endoberfläche Chemisch Gold	Chemisch Nickel Gold
P*	Aufbringen Endoberfläche Chemisch Zinn	Chemisch Zinn
I* **	Aufbringen von Heißzinn	HAL
Q**	Endreinigung	Endreinigung

\* Schritt nicht in jedem Fall erforderlich

\*\* anderes Werk, nicht betrachtet

## 3. Vorhaben

### 3.1. Planung

Die Planung konnte ohne Störung des bestehenden Betriebs durchgeführt werden, da alle Anlagen parallel entweder im bestehenden Gebäude oder im neuen Werk 5 aufgebaut werden konnten.

Am 01. Juni 2005 zerstörte ein Großbrand im bestehenden Werk 1 die Produktion und Abwasserbehandlungsanlage nahezu vollständig. Das Werk 5 wurde vom Brand nicht betroffen.

Nach dem Brand wurde der Wiederaufbau der Anlagen nur noch im Werk 5 vorgenommen.

### 3.2. Genehmigungen

Der Betrieb Schweizer Electronic fällt aufgrund seines Wirkbadvolumens  $> 30 \text{ m}^3$  unter das Immissionsschutzrecht.

Der Betrieb ist immissionsschutzrechtlich nach 3.10 Spalte 1 4. BImSchV genehmigt.

### 3.3. Technische potentielle Lösungen

Folgende technische Lösungen wurden in der Planungsphase in Erwägung gezogen und auf ihre Einsetzbarkeit hin untersucht:

- Einsatz von Mehrfachkaskadenspültechnik über die 3-fach Spülkaskade hinaus - wenig
- Trennung der Spülkaskaden in Abwasserteilströme und kreislauffähige Teilströme
- Mehrfachverwendung von Spülwasser unter Ausnutzung der eingeschleppten Elektrolyte zur Standzeitverlängerung von Elektrolyten
- Kreislaufführung von mechanisch verunreinigtem Spülwasser über Filtrationsverfahren und Ableitung der zwangsgeführten Spülwassermenge aus Kühlungsgründen in den Kreislauf
- Kühlwasserkreislaufführung über Kältetechnik
- Standzeitverlängerung von Kationenaustauschern in Reihenschaltung durch zusätzliche pH-Überwachung
- Oxidation von Komplexbildnern über UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Anlagen und damit Vermeidung des Ausstrags von Komplexbildner in öffentliche Abwasseranlagen und der Sulfidfällung
- Verbesserung der Verwertungswege für Abfälle Metallhydroxidschlamm durch Nutzung von salzsauren Kupferätzlösungen als Fällungshilfsmittel anstelle von Eisen- oder Aluminiumsalzen
- Schaffung eines Verwertungsweges für Lackschlamm durch Membranfiltration und Vergärung des Lackschlammes zu Biogas
- Selektive Behandlung einzelner metallhaltiger Abwasserströme um verwertbare Abfallströme zu erhalten; damit Schaffung sortenreiner Abfälle.

### 3.4. Spültechnik und Wassersparmaßnahmen

#### 3.4.1. Leiterbildlinie (Verfahrensnummer E,F,G,H Kapitel 2.1)

Trennung der Spülkaskaden in Abwasserteilströme und kreislauffähige Spülwasser

Beim Einsatz der 5-fach Kaskadenspültechnik eröffnet sich die Möglichkeit, dass der letzte Spülschritt (5. Kaskade) mit Kreislaufwasser aus der zentralen Ionenaustauscher-Kreislaufanlage versorgt wird und das Spülwasser zurück zur Ionenaustauscher-Kreislaufanlage zurück fließt. Desweiteren werden Spülwasser der 5 Kaskade häufig nur im Teilstrom durch die zugehörige Kaskade gefördert. Die anderen Teilströme dienen zur Beschickung weiterer Spülkaskaden im Prozess

Aus der 1. Spülkaskade nach dem Prozessbad fließt das am höchsten belastete Spülwasser in die Speicherbehälter der jeweiligen Behandlungsstufe ab.

Durch die Einführung der 5-Fachkaskaden in dieser Linie konnte der Wasserverbrauch von 45 l/m<sup>2</sup> auf 20 l/m<sup>2</sup> gesenkt werden.

Ein Eindruck vom Anlagenaufwand für 5-Fach-Kaskaden im Vergleich zu 3-Fach-Kaskaden vermitteln diese Bilder:



Bild 5-Fach-Kaskade links, 3-Fach-Kaskade rechts

Beispiel Mehrfachnutzung der Spülwasser (so eingeführt):

Kaskadenführung: Besonders gute Spülqualität am Auslauf der Spüle, zum Beispiel bevor die Leiterplatte die Anlage verlässt. Mehrfachnutzung eines Teilstromes der letzten Kaskade (Kaskade D 5) zur Verwendung in z.B. Kaskade A. Wasser der ersten Kaskade von der vorherigen sauren Spüle leicht sauer, es findet Anwendung zum Abspülen des Laugestrippers.

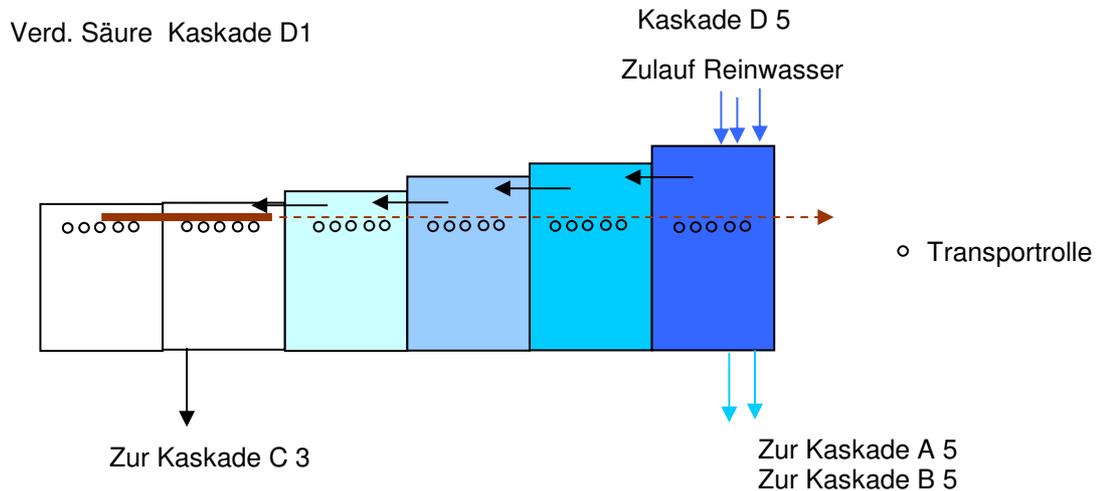


Bild 5-Fach-Kaskade Mehrfachnutzung

Beispiel: Reinspülwassers zurück zum Rohwasser (so eingeführt)

Kaskadenführung: Nutzung des Spülwassers aus z.B. letztem Kaskadenblock bevor die Leiterplatte die Anlage verlässt.

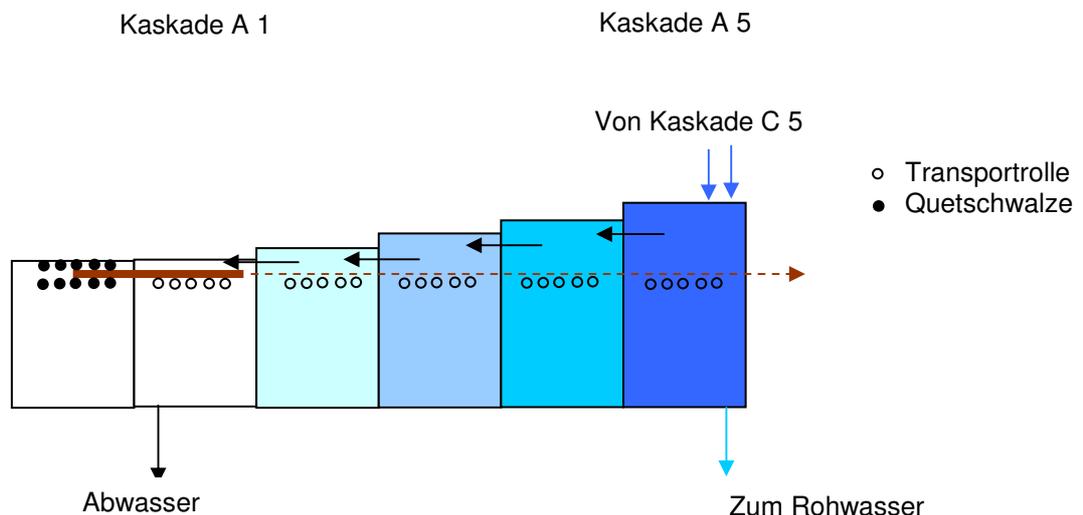


Bild 5-Fach-Kaskade Rückführung

Kaskadenführung: Besonders gute Spülqualität am Auslauf der Spüle, Rückführung eines Teilstromes der letzten Kaskade zur Aufbereitung des nur gering belasteten Wassers.

Bei Schweizer Electronic existieren in der Praxis weitere ähnliche Kaskadenführungen, wenn auch nicht immer als 5er Kaskaden.

### 3.4.2. Anlagen zur galvanischen Kupferabscheidung (Galvanoautomat)

Die bisherigen Galvanoautomaten beruhen auf der Spritzspültechnik, mit nur einem Spritzabteil. Vorteilhaft war, dass die Anlagenlänge deutlich geringer war als bei Einsatz der Kaskadenspültechnik.

Die Spritzspültechnik argumentiert mit dem Begriff, dass der Reinigungseffekt an der Oberfläche besser ist als beim Tauchspülen („duschen besser als baden“). Bei den heutigen Anforderungen an Leiterbahnabstände und Bohrlochdurchmesser (200 µm) erreicht die Spritzspüle alleine nicht mehr den gewünschten Spüleffekt. Die Zwischenräume zwischen den Leiterbahnen und die Bohrlöcher (insbesondere Sacklöcher) werden nicht ausreichend gereinigt. Aus diesem Grund kommen kombinierte Tauch-Spritzspülen mit Topspray, ggf. mit einer Spritzspüle zur Nachreinigung zum Einsatz. Zu Verbesserung des Spüleffekts beim Tauchspülen werden zusätzlich Belüftungen und/oder Warenbewegungen durchgeführt.

Die Spülvarianten: Spritzspüle und Tauch-Spritzspüle

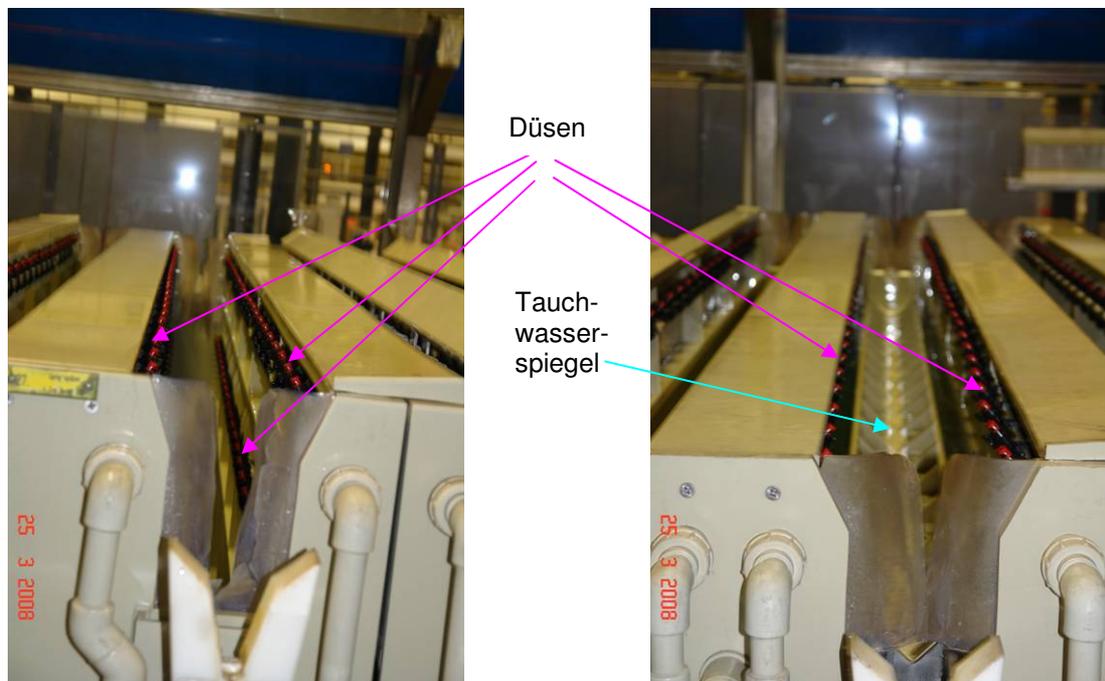


Bild Spritzspüle und Tauchspritzspüle Galvanoautomat

In der hier angewendeten Verfahrensvariante werden die LP nach dem Entfetten zunächst in der Tauch-Spritzspüle gereinigt. In dieser wird der Elektrolyt in einer Weise verdünnt, welche in einer reinen Spritzspüle nicht möglich wäre. Anschließend, aus Qualitätsgründen, wird in einer reinen Spritzspüle nachgespült. Das Wasser der reinen Spritzspüle wird aufgefangen und über das Topspray der Tauch-Spritzspüle zugeführt. Hierdurch wird auf engstem Raum ein gutes Spülergebnis erzielt. Diese Kombination entspricht in etwa einer 3,5-Fach Kaskade, wobei die Spritzspüle mit 3 horizontalen Düsenreihen als 2-Fach-Kaskade und die Tauch-Spritzspüle als 1,5-Fach Kaskade bewertet wird.

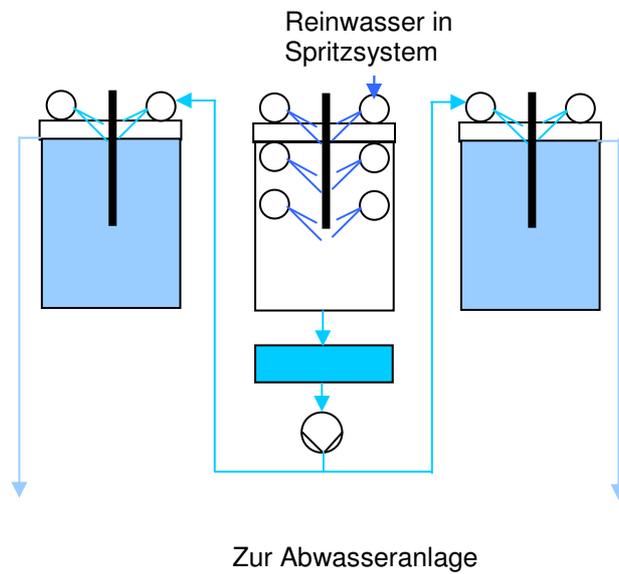


Bild Spülen Galvanoautomat

### 3.5. Kühlwasserkreislaufführung über Kältetechnik

Alle Prozesse, die gekühlt werden müssen, werden über Kältetechnik gekühlt. Damit kommt kein Kühlwasser mit den Prozesselektrolyten in Berührung. Die Ressource Wasser wird durch diese Technik geschont.

### 3.6. Nutzung von Niederschlagswasser

zur Ergänzung der Wasserverluste der Ionenaustauscher-Kreislauf-Anlage

Das Niederschlagswasser von den Dachflächen wird in 3 Tiefspeichern gesammelt, um mit diesem Niederschlagswasser nach Filtration über ein Kiesfilter und Entkeimung die Verluste der Kreislauf-Ionenaustauscher-Anlage zu ergänzen. Die Niederschlagsmengen und die vorhandenen Dachflächen ergeben etwa 15.000 m<sup>3</sup>/Jahr Wasser (Datenbasis 2007) welche der Kreislauf-Ionenaustauscher-Anlage zugeführt werden können. Diese Maßnahme spart die Ressource Trinkwasser.

Bei einem Gesamtverbrauch von ca. 95.000 m<sup>3</sup>/a (Datenbasis 2007) beträgt der Niederschlagswasseranteil 15 %. Die der Ionenaustauscher-Kreislaufanlage zugeführte Niederschlagsmenge entlastet zum Einen die Ressource Trinkwasser ( $\text{Ø } 350 \mu\text{s/cm}$ ) und zum Anderen die Ionenaustauscher, die deshalb höhere Standzeiten zwischen 2 Regenerationen besitzen und somit weniger häufig regeneriert werden müssen.

Weniger Regenerationen bedeuten weniger Chemikalieneinsatz von Salzsäure und Natronlauge und weniger Neutralisationschemikalien bei der Abwasserbehandlung. Der Verbrauch an Oxidationsmittel ist gering und beläuft sich auf etwa 200 € Kosten pro Jahr

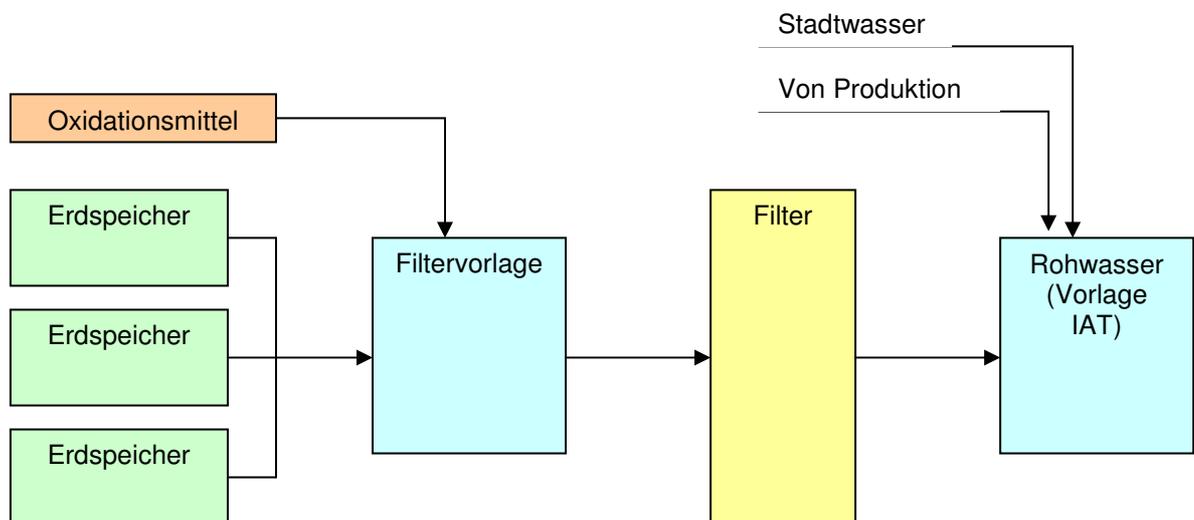


Bild: Regen und Rohwasser

Leitfähigkeit des Rohwassers sinkt, sobald Regenwasser zuläuft:

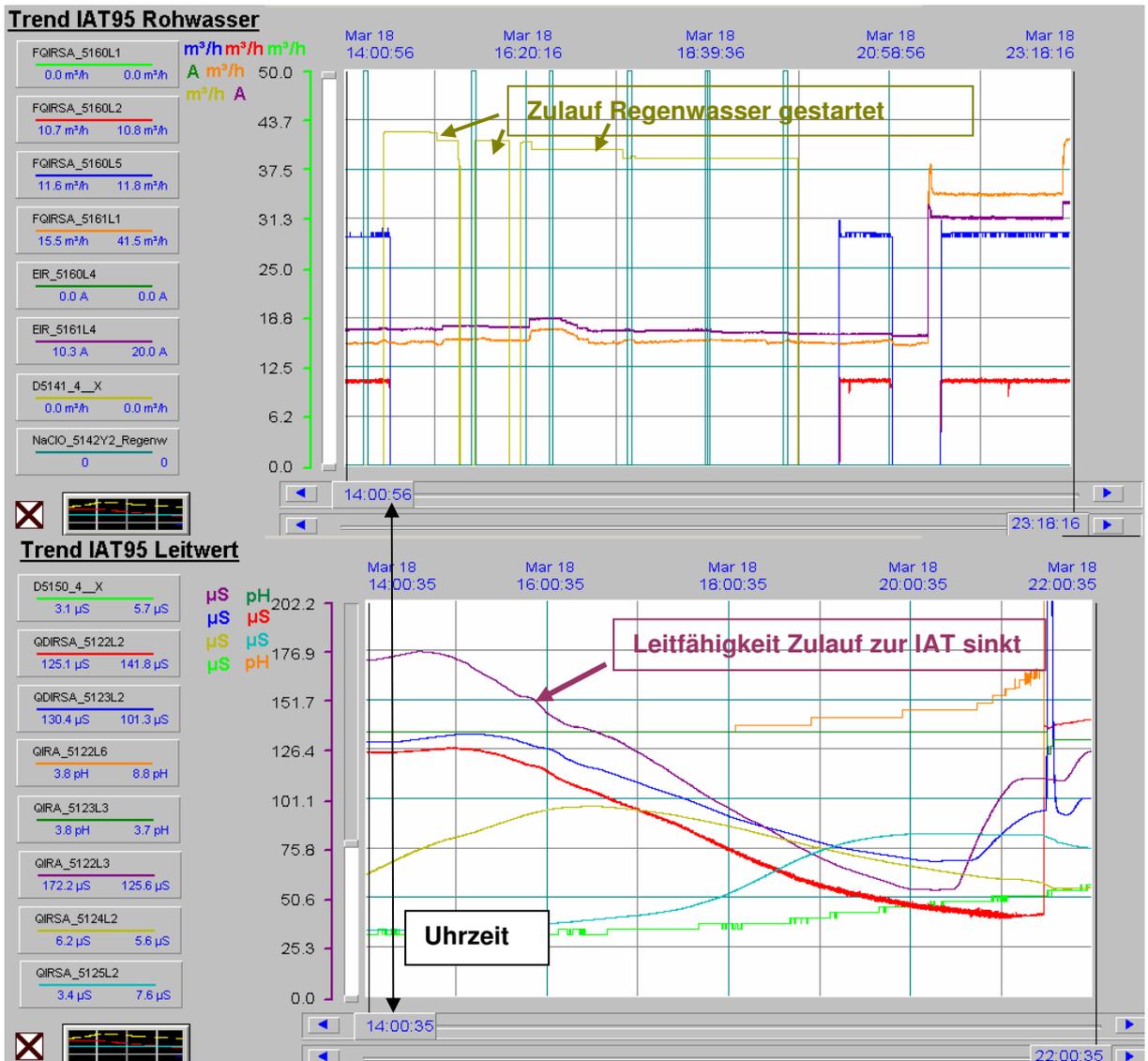


Bild: Trend Leitfähigkeit Rohwasserzulauf

### 3.7. Teilweise realisierte innovative Abwasserbehandlungstechniken

#### 3.7.1. Kationentauscher Regenerationsüberwachung

Mit der Einführung der pH-Wert-Messung wird eindeutiger erkannt, wann die kationischen Austauschharze erschöpft sind.

Der pH-Wert-Anstieg über pH 4 ermöglicht eine redundante Erkennung des Regenerationszeitpunktes. Dies ist erforderlich, da die Ausbildung einer Differenz der Leitfähigkeit zwischen den hintereinander geschalteten Ionentauschern bei geringen Leitfähigkeiten im Rohwasser (Zulaufwasser zu den Ionentauschern) nicht immer in ausreichendem Maß ausgebildet wurde. In der Folge wurden im positiven Fall Regenerationen aus „Vorsorge“ durchgeführt.

Ein zu geringes Leitfähigkeitsdifferenzkriterium führt zu vermehrten – ggf. unnötigen Regenerationen.

Trendaufzeichnung Kationentauscher vor der Regeneration. In diesem Fall hat sich neben dem pH-Anstieg auch eine ausreichende Leitfähigkeitsdifferenz als Kriterium für den Regenerationsstart.

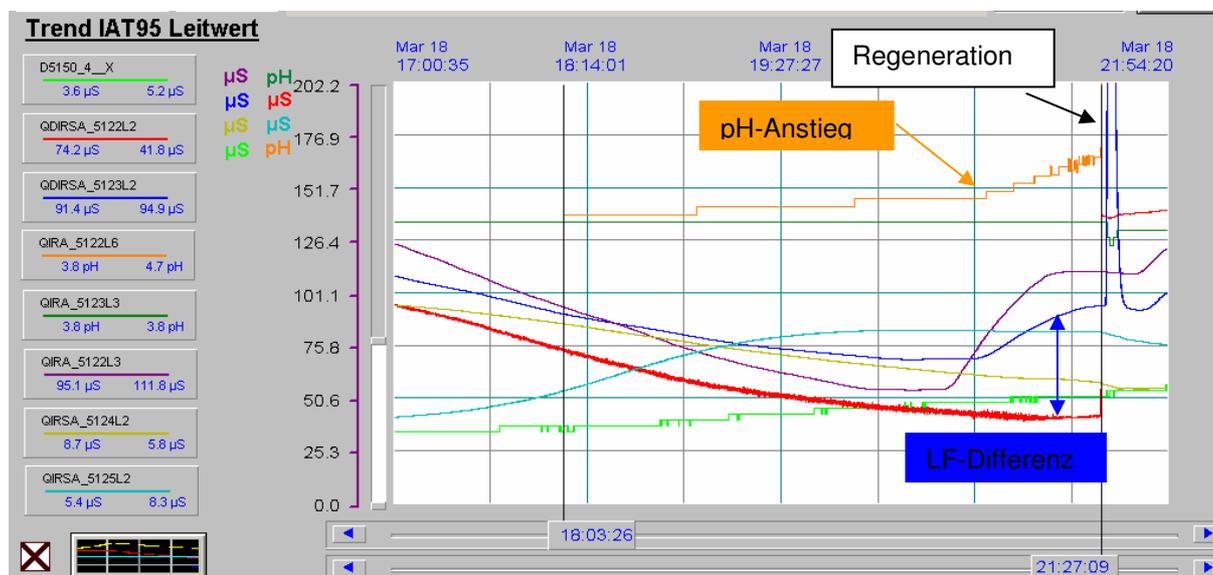


Bild: Trend Regeneration

#### 3.7.2. Oxidation mittels UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Oxidation komplexbildnerhaltiger Abwässer mittels UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, um danach die Abwässer in der komplexbildnerfreien Abwasserstufe weiterzubehandeln

In der Leiterplattenfertigung werden in verschiedenen Prozessen Komplexbildner angewendet. Die Abwässer und Konzentrate enthalten als Komplexbildner Tartrate, Carbonsäuren, Ammoniak und wieder vermehrt auch EDTA.

Komplexbildnerhaltige Abwässer treten in der Leiterplattenfertigung insbesondere im Bereich chemisch reduktiver Metallabscheidung auf, z.B. chemische Verkupferung (Durchkontaktierung), sowie chemisch Nickel und chemisch Gold oder chemisch Zinn auf. Insbesondere chemisch Kupfer und chemisch Zinn enthalten häufig EDTA in größeren Konzentrationen. Schweizer Electronic setzt nach wie vor auf eine EDTA-freie Durchkontaktierung.

Das geplante Verfahren H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV-Oxidation wurde deshalb zurückgestellt.

### 3.7.3. Verbesserung der Verwertungswege für den Metallhydroxidschlamm

Die Innenlagen der Multilayerproduktion werden mit einer salzsauren  $\text{CuCl}_2$  - Ätzlösung geätzt. Die durch eine Vorätzkammer auf  $> 160 \text{ g/l}$  aufkonzentrierte Ätzlösung ist seit Jahren ein begehrtes Recyclingprodukt, da diese Ätzlösung Ausgangsprodukt für verschiedenste Kupfer-salze ist.

Eine geringe Teilmenge wird bereits in der bestehenden Abwasserbehandlungsanlage als Fällungshilfsmittel mit viel Erfolg in der Behandlung komplexbildnerfreier Abwässer und in der Durchlaufneutralisation anstelle von Eisen-III-chloridlösung verwendet. Die Zugabe führt dazu, dass die Filterkuchen der Abwasserbehandlungsanlage hohe Kupferkonzentrationen enthalten und nahezu als sortenreine Filterkuchen gelten. Diese Verfahrenstechnik wird auch bei der neuen Abwasserbehandlungsanlage angewendet.

Jährlich fallen zur Zeit ca. 2000 to salzsaure Kupferchloridätzlösung an, die in verschiedenen Betrieben verwertet werden.

Eine geringe Teilmenge, ca. 20.000 l/a, werden als Fällungshilfsmittel eingesetzt. Der Schlamm wird durch den Einsatz der Kupferchloridätzlösung werthaltiger und ist besser zu verwerten als dies bei Einsatz von Eisen-III-chloridlösung der Fall wäre.

Die Schlämme enthalten etwa 25-30 % Kupfer in der Trockenmasse und 9-12% im Nassschlamm

### 3.7.4. Selektive Behandlung edelmetallhaltiger Abwässer

Sämtliche goldhaltige Wasser – Spülwasser und das Konzentrat des chemischen Goldbades - werden einem Puffer zugeführt und von dort über hintereinander geschaltete Ionentauschersäulen zum Entgolden geleitet. Das entgoldete Wasser wird der weiteren Abwasserbehandlung zugeführt, um sicherzustellen dass sämtliches Cyanid und auch alle Metallreste aus dem Wasser entfernt sind.

Um einen möglichst geringen Goldgehalt am Auslauf der Ionentauscher zu erhalten und um den Verbrauch an Ionentauscherharzen – die Bindung Cyanoaurat an das Harz ist irreversibel – gering zu halten ist es wichtig, dass die Austauschersäulen hintereinander geschaltet werden.

Zum Einsatz kommen anionische Harze. Die Verwertung der Goldharze erfolgt extern, das Gold wird zurück gewonnen und entsprechend der Börsennotierung vergütet. Als Kosten fallen die Aufbereitungsgebühren an.

Das aus den Austauschersäulen austretende entgoldete Abwasser wird in einem Speicherbehälter gesammelt und in einer Oxidationsstufe mittels Wasserstoffperoxid oxidiert. In der Praxis hat sich gezeigt, dass der Gehalt an Cyanid sehr gering ist (Beobachtung über 1 Jahr: kein Wert  $> 0,2 \text{ mg/l}$   $\text{CN}^-$  nach den Ionenaustauschersäulen). Zur Sicherheit wurde nach Einführung der Ionentauscherreihenschaltung oxidiert. Im praktischen Betrieb wurde das Verfahren beibehalten, da sich gezeigt hat, dass durch die Oxidationsstufe die vorhandenen organischen Stoffe angegriffen und die weitere Behandlung in der komplexhaltigen Stufe, welche zur Fällung letzter Metallreste erforderlich ist, unproblematischer ist.

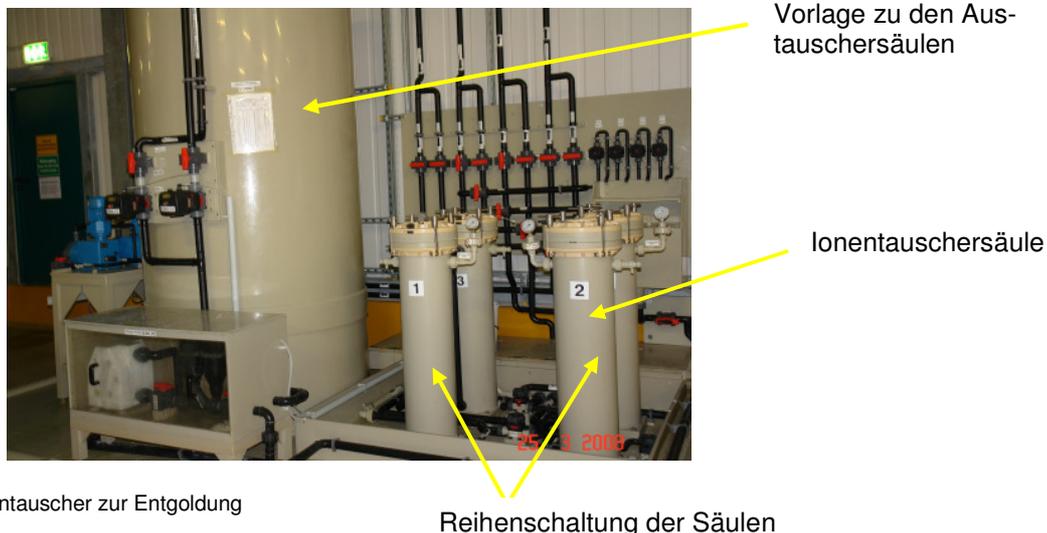
Das Chemische Goldbad und Sparspülen wurden schon jeher über 1 Austauschersäule entgoldet, jedoch im Kreislaufverfahren, heißt Vorlage ist gleichzeitig Ablauf, so dass

- das Gold in der Regel nicht bis unter  $20 \text{ mg/l}$  entfernt werden konnte
- Vermehrt Harz eingesetzt werden musste

Die Fließspülwasser wurden der Abwasseranlage ohne dass sie entgoldet wurden zugeführt

Die Größe der Filter wurde so gewählt, dass die Handhabung (regelmäßiger Harzwechsel) gewährleistet ist. Der Zeitpunkt des Harzwechsels wird analytisch ermittelt (Goldgehalt des Abwassers wird ermittelt)

Reihenschaltung der Ionentauschersäulen. 4 Säulen, je 2 hintereinander.



### 3.7.5. Selektive Behandlung zinnhaltiger Abwässer

Die Abwässer des Chemisch Zinn-Prozesses und die Abwässer des Zinn-Stripper-Prozesses werden in getrennten Speicherbehältern aufgefangen. Entsprechend eines vorgegebenen Rezeptes werden sie der Behandlungsstufe zugegeben, wobei folgende grundlegende Rezepte zur Verfügung stehen:

- I. Chemisch Zinn Spülwasser und Chem Zinn mit Konzentrat
- II. I. und zu entsorgendes Kupferbad
- III. I. und zu entsorgender Zinnstripper
- IV. Zinnstripper

In den Fällen I. bis III. erfolgt zunächst eine oxidative Behandlung, anschließend wird im Fall I. Kupferchlorid und oder Kalk hinzu gegeben, im Fall II. und III. die zuvor berechnete Menge an zu behandelnden Konzentraten. Zum Schluss wird die Mischung mit Natronlauge auf Fäll-pH-Wert gebracht. Der Schlamm wird auf einer separaten Filterpresse entwässert, in BIG BAG's aufgefangen und einer externen Verwertung zugeführt.

Im Fall IV. muss das Konzentrat verdünnt werden (hierzu wird DN-Wasser genutzt) anschließend werden die Metallionen unter Zugabe von Lauge ausgefällt. Der Schlamm wird über die gleiche Presse entwässert.

In allen Fällen muss das Filtrat der Komplexbehandlungsstufe zugeführt werden, da bei diesen Verfahren wohl das Zinn, vorkommendes Eisen und Kupfer jedoch wegen anwesender Komplexbildner nur zum Teil gefällt werden.

Die Vorteile dieses Behandlungsverfahrens sind folgende:

- Abfallkonzentrate werden zur Behandlung wieder eingesetzt
- Chemisch Zinn wird als Konzentrat/Spülwasser getrennt von anderen Strängen behandelt. Würde dies nicht geschehen, so müssten, zur Fällung des Zinn unterhalb der gültigen Grenzwerte (2mg/l; Anhang 40-Leiterplatte) das chemisch Zinn Spülwasser und Konzentrat mit sehr viel anderem anfallenden Wasser aus der Fertigung verschnitten werden. Das gesamte Wasser müsste sodann mit Natriumsulfid gefällt werden.
- Durch die Oxidation wird erreicht, dass das Zinn und auch Anteile der sonstigen Metalle als Hydroxide fällbar sind und der nicht gefällte Anteil mit Komplexspalter (Carbamatbasis) gefällt werden kann.

- Das prozesstechnisch unsichere und auch für die Mitarbeiter unangenehme und gefährliche Natriumsulfid kann entfallen

### 3.7.6. Behandlung fotoresistbeladener Abwässer

Fotosensitive Lacke (flüssig oder auflaminiert) werden nach dem Belichten zunächst entwickelt. Anschließend folgen Ätzprozesse und zum Schluss wird der vernetzte Lack gestrippt. Die Entwicklungs- und Stripperlösungen in einer Membranfiltrationsanlage in einer Mischung aus „feed and bleed-Verfahren“ und Chargenbehandlung behandelt. Dabei werden aus dem Abwasser die Acrylate mittels Keramikmembranmodule vom Wasser getrennt. Das Volumen der lackbelasteten Wasser wird hierdurch auf 1/25 reduziert. Das Filtrat fließt über Puffer zur Schlussneutralisation. Der angefallene Lackschlamm (Lack/Wassergemisch mit ca. 80-85 % Wassergehalt) wird gesammelt und durch einen externen Entsorger einer thermischen Verwertung zugeführt. Dieses Verfahren hat Schweizer Electronic in der Leiterplattenindustrie eingeführt und durch eigene Entwicklungstätigkeit zur Prozessreife geführt.

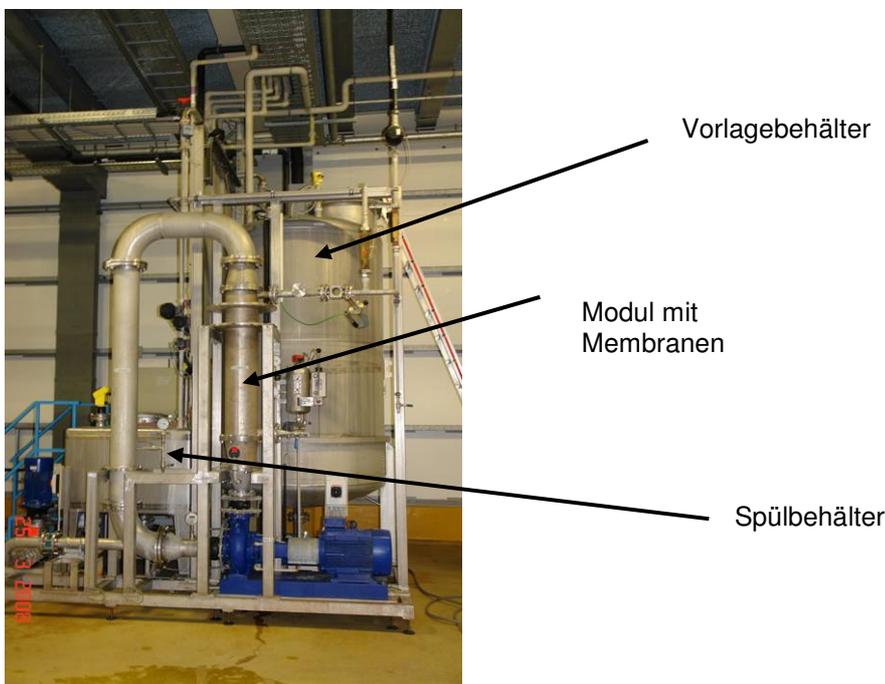
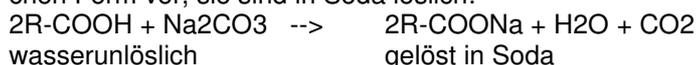


Bild Ultrafiltration

Eine biologische Verwertung der Lackschlämme hat sich nach weiteren theoretischen Überlegungen zerschlagen.

Im unbelichteten Resist liegen die Acrylsäureester/Photopolymere noch in ihrer ursprünglichen Form vor, sie sind in Soda löslich:



Wird der Resist belichtet, so reagieren die Acrylsäureester zu Polyacrylaten. Die Polyacrylate sind nicht mehr in Soda sondern nur noch in der alkalischeren Natronauge stripbar. Sie liegen dann auch nur noch zum Teil gelöst in der verdünnten Lauge vor. Der Rest ist als Flocken von bis zu etwa 2 mm in der Lösung suspendiert und löst sich erst, falls lange Standzeiten (Tage) eingehalten werden.

Die Acrylsäuren und Polyacrylate sind nur schwer im Wasser zu metabolisieren, da sie sich nur in Alkalien lösen und nicht in neutralem Wasser. Unter Einfluss von Säuren polymerisieren sie sogar – sofern keine geeigneten Füllmittel als Klebeverhinderer zugegeben wurden – zu einer klebrigen Masse.

Eine Metabolisierung von organischen Stoffen ist jedoch die Voraussetzung zum biologischen Abbau von organischen Stoffen da dies für den Transport durch die Zellwand und damit zur Verstoffwechslung essentiell ist.

Da die Ultrafiltration im quasi-Chargenbetrieb geführt wird, heißt, über die Chargenbetriebszeit reichert sich der Vorlauf (Retentat) immer mehr an, bis dieser so dick wird, dass sich eine weitere Filtration nicht mehr lohnt, ist es sinnvoll, die anfallenden Resistflocken des gestrippten Resists aus der kontinuierlichen Prozessfiltration nicht mit in die Ultrafiltration zu geben. Diese Resistflocken wurden früher mit Zentrifugungen an den Prozessanlagen aufkonzentriert und anschließend als fester Resist entsorgt.

Diese Verfahrensweise war aus mehreren Gründen unbefriedigend:

- Zentrifugen beinhalten durch die rotierenden Massen ein höheres Risikopotential
- Hohe Reparaturkosten und auch häufig
- Ungleichmäßige Konsistenz des zentrifugierten Resists (zu kurz zentrifugiert, Zentrifuge zu voll beladen)
- Arbeitsaufwand durch den Mitarbeiter – bis zu 2/Stunde händisches Entleeren der Zentrifugentrommel – sehr hoch

Da auch das einfache Abtropfen keine Alternative darstellte (sehr schmutzig beim Handling, um gute Konsistenzen an festem Resist zu erreichen sind große Abtropfflächen erforderlich) wurde nach weiteren Lösungen gesucht.

Eine der Lösungen war, diese Suspension Wasser – Resistflocken über eine Filterpresse abzupressen. Nach erfolgreichen Versuchen (Labor + Pilotmaßstab) ist nun eine Filterpresse installiert, welche die Resistflocken mit gleichmäßigem Ergebnis und – ausser Entleeren der Presse und deren Turnusmäßigen Kontrolle – keinerlei anfallenden Arbeiten und Problemen, abpresst. Der entstehende, nichtflüssige Schlamm, wird extern zur Verbrennung gegeben.

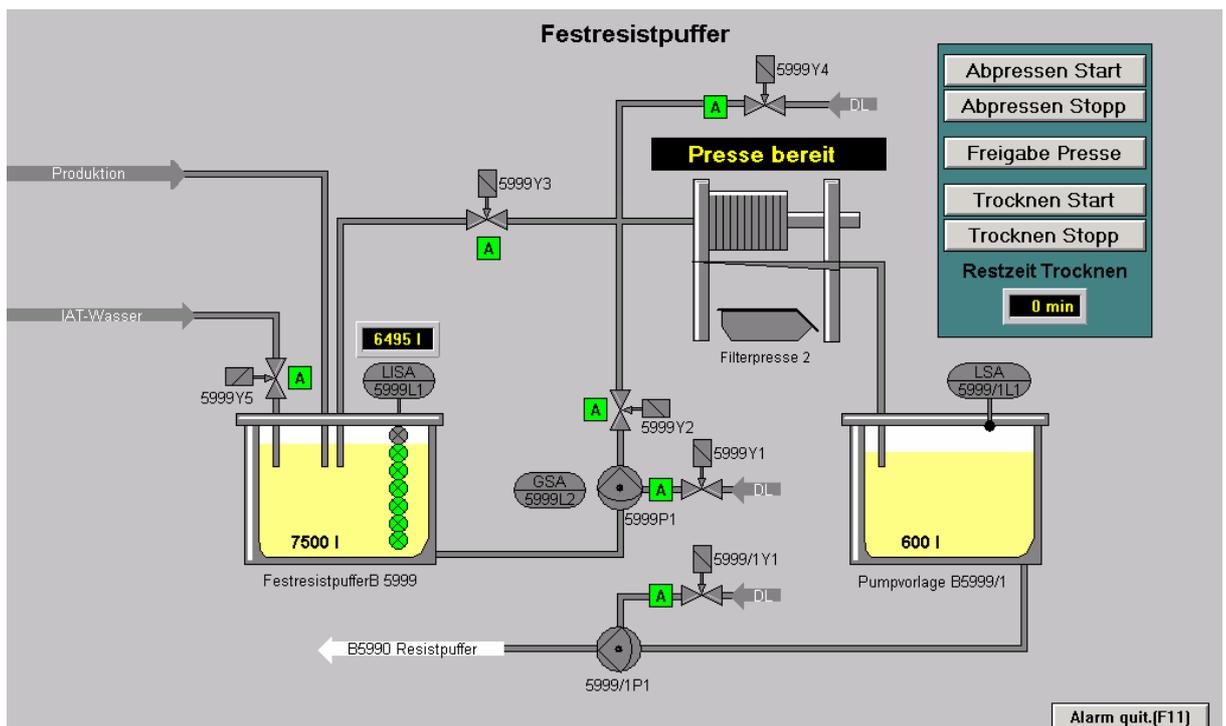


Bild Visualisierung Festresistpresse

Resist im Schlammcontainer:

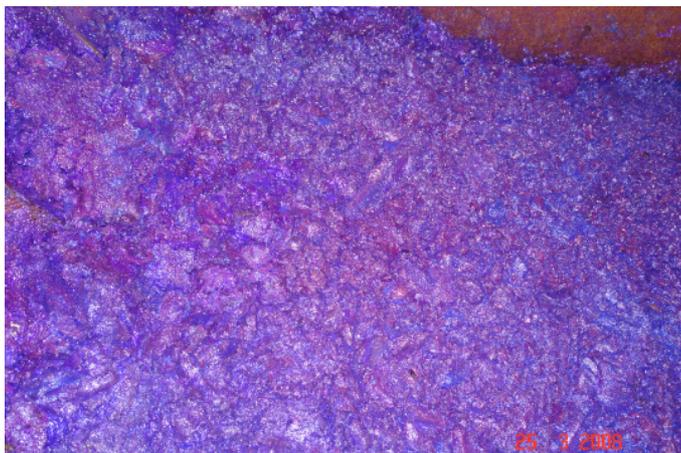


Bild Festresist

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Spülen Kaskadentechnik und Mehrfachnutzung

#### 4.1.1. Beispiel Innenlagenlinie (E,F,G,H vgl. Kapitel 2.1)

Standart-3-Fach Kaskade		3 bzw. 5-Fachkaskade und Mehrfachnutzung Wasser	
Anlagebezeichnung	Abwasseranfall l/h ALT	Anlagenbezeichnung	Abwasseranfall l/h – NEU (IST)
Vorreinigen		Vorreinigen	
Entfetten		Entfetten	
Spülen 3-fach Kas	300	Spülen 3-fach Kas	330
Anätzen		Anätzen	
Spülen 3-fach Kas	300	Spülen 5-fach Kas (Mehrf.)	20
Entwickeln		Entwickeln	
Spülen 3-fach Kas	300	Spülen 5-fach Kas	150
Ätzen sauer		Ätzen, sauer	
Spülen 3-fach Kas	300	Spülen 5-fach Kas	100 + 200 in IAT zurück
<b>Strippen</b>		<b>Strippen</b>	
Spülen 3-fach Kas	300	Spülen 3-fach Kas	100
Säurespüle	0	Säurespüle	100
Spülen 3-fach Kas	300	Spülen 5-fach Kas (Mehrf.)	0
Summe	1800	Summe Frisch	1000
Summe	1800	Summe Abwasser	800
Spez. Verbrauch: 45 l/m <sup>2</sup>		Spez. Verbrauch: 20 l/m <sup>2</sup>	

Tabelle Spülen Innenlagenlinie

Die Differenz aus Frisch- und Abwasser ergibt sich in diesem Fall aus der Rückführung eines kleinen Wasserstroms in das Rohwasser. Zur Ermittlung des spezifischen Verbrauchs wird diejenige Wassermenge herangezogen, welche in der Abwasseranlage behandelt wird.

#### 4.1.2. Beispiel Galvanoautomat (D,R vgl. Kapitel 2.1)

Spritzspülen und Standspülen mit Top-spray		Ausschließlich Standspülen mit Topspray	
3 Galvanoautomaten	Spülwasser-durchsatz l/h	2 Galvanoautomaten	Spülwasserdurchsatz l/h
Standspülen mit Top-spray und Spritzspülen. Alle Wassermengen zusammengefasst		Nur Standspülen mit Topspray	
Summe	5.400	Summe (Theorie)	4.800
Warendurchsatz: 68 m <sup>2</sup> /h		Warendurchsatz: 75 m <sup>2</sup> /h	
Spez. Verbrauch: 80 l/m <sup>2</sup>		Spez. Verbrauch: 64 l/m <sup>2</sup> (Theorie)	Spez. Wasserverbrauch ermittelt: < 45 l/m <sup>2</sup>

Tabelle Spülen Galvanoautomat

Im Fall der neuen Galvanoautomate konnte der genaue spezifische Wasserverbrauch ermittelt werden, da sowohl m<sup>2</sup> LP als auch der Wasserzulauf automatisch vom Programm erfasst werden.

#### 4.1.3. Zusammenfassung Wasserverbrauch aller Anlagen

	Verfahren	Umweltauswirkungen	
		Wasser ALT	Wasser NEU (IST)
F,F,G,H	Innenlagen/Aussenlagen	++	+
V	Braunätzanlage	0	0
B	Desmeranlage	0	0
C	HDI/Direktplating	+	+
D1	Horizontalplater	Nicht Vorh.	+
S,T,U	Ammoniakalische Ätzanlage	0	0
K	Vorbehandlung Bims-Bürst	0	0
L/M	Stopplackanlage entwickeln	0	0
D2	Galvanoautomaten alle	+++	++
P*	Chemisch Zinn	++	++
N*	Galvanisch Gold	0	0
O*	Chemisch Nickel Gold	+	+

Tabelle Umwelteinschätzung Prozessanlagen

0 sehr gering : <= 15 l/m<sup>2</sup>  
 + gering : 15 l/m<sup>2</sup> < X <= 25 l/m<sup>2</sup>  
 ++ mittel : 25 l/m<sup>2</sup> < X <= 50 l/m<sup>2</sup>  
 +++ stark : >50 l/m<sup>2</sup>

In einigen Anlagen war der Wasserverbrauch pro m<sup>2</sup> LP schon in der Vergangenheit so gering, dass keine weitere Reduzierung ohne Qualitätseinbußen mehr möglich war, oder die Reduzierung nur sehr gering ausgefallen ist.

Im Schnitt sind in Produktionsjahren folgende Mengen (2 Produktionsstandorte) Frischwasser (incl Regenwasser) verbraucht worden und Abwasser angefallen:

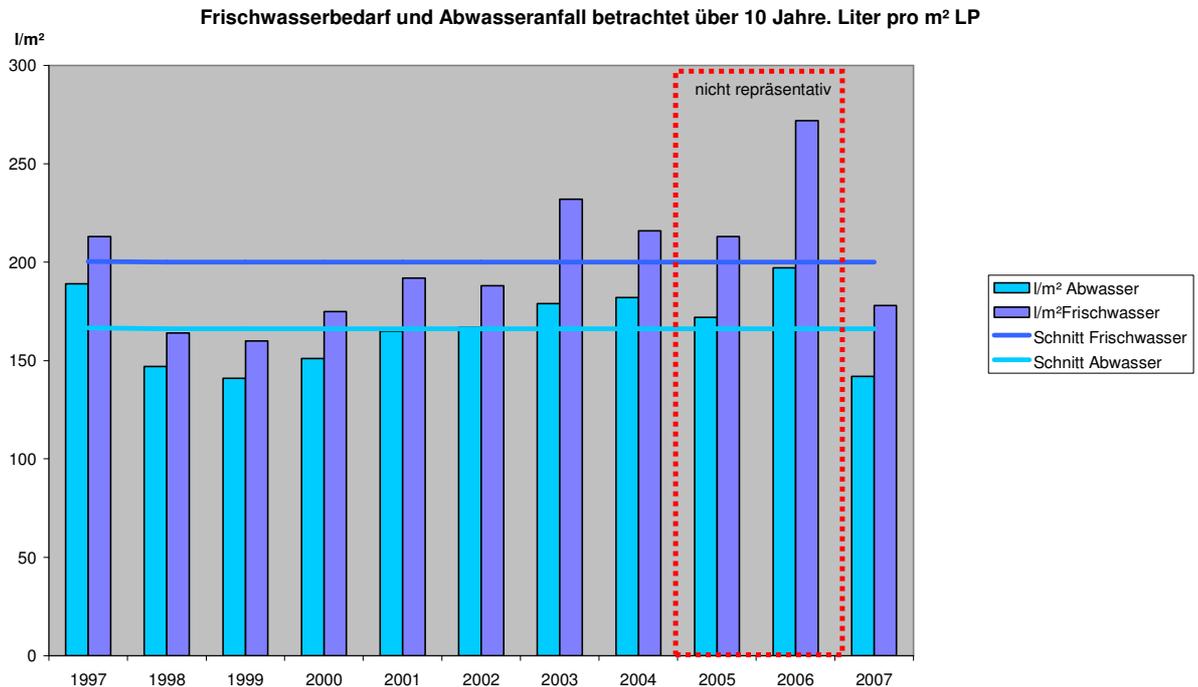


Diagramm Frisch und Abwasser l/m<sup>2</sup>

Der Verlauf ist nicht – wie gewünscht – kontinuierlich nach unten. In den Frischwasserbedarf gehen auch Posten wie Klimatisierung und auch das Wetter ein. 2003 wurde eine neue Produktionshalle erstmals klimatisiert, des Weiteren war, wegen eines heißen Sommers, die Verdunstungsrate in nicht klimatisierten Bereichen besonders hoch. Die Klimatisierung hat allgemein aus Qualitätsgründen zugenommen – die Produktionsstätten sind inzwischen klimatisiert und mit konstanter Feuchte ausgestattet. In den Abwasseranfall gehen auch Posten ein wie Grundlast, diese sind nicht präzise herauszurechnen. Der Frischwasserbedarf ermittelt sich aus Stadtwasser und eingesetztem Regenwasser.

#### 4.1.4. Abschätzung der Einsparpotentiale

1 m<sup>3</sup> zu viel verbrauchtes Wasser durch die Prozesse schlägt zu buche mit:

A) Umwelt:

- Ressourcenverbrauch Trinkwasser und Energie allgemein
- Aufsalzung durch Abwasserreinigung und Reinwasseraufbereitung

B) Finanziell:

- Reinwasseraufbereitung
- Abwasserbehandlungskosten
- Pufferkapazitäten, Anlagengrößen
- Personalkosten
- Zusätzliche Energie
- Frisch- und Abwasserkosten

Da Wassersparmaßnahmen hauptsächlich Spülprozesse betreffen, werden diese zur Abschätzung herangezogen.

Der Vergleich einer 3-er mit einer 5-Fach-Kaskade verdeutlicht – bei gleichem Spülkriterium  $c_0/c_n$  - :

Unter Anwendung der so genannten einfachen Kaskadengleichung ergibt sich nach Auflö-

sung von:  $\left(\frac{Q_3}{V_3}\right)^3 = \left(\frac{Q_5}{V_5}\right)^5$  sofort ein um 2 Potenzen höhere Spülwassermenge für das Gleiche Spülkriterium respektive eine erheblich bessere Spülung. In der Praxis verringert sich der Spülwasserbedarf von einer 3-Fachkaskade zu einer 5-Fach-Kaskade um etwa die Hälfte bei erheblich besserem Spülkriterium

Schweizer Electronic spart pro  $m^3$  weniger eingesetztem Spülwasser 4,5 € zuzüglich Frisch/Abwasserkosten ein. Das Wasser wird mittels Ionenauschertechnik aufbereitet und über einer Durchlaufneutralisation mit nachgeschalteter Kiesfilter- und Selektivaustauscheranlage gereinigt. Konzentrate sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. In dieser Kalkulation sind berücksichtigt: Erforderliche Chemikalien, anfallende Abfälle und Verbrauchsmaterialien und Energie. Nicht berücksichtigt sind Abschreibungen, allgemeine Umlagen, Personalkosten und die schon erwähnten Frisch/Abwasserkosten.

## 4.2. Kationentauscher Regenerationsüberwachung

### 4.2.1. Rohwasserleitfähigkeit

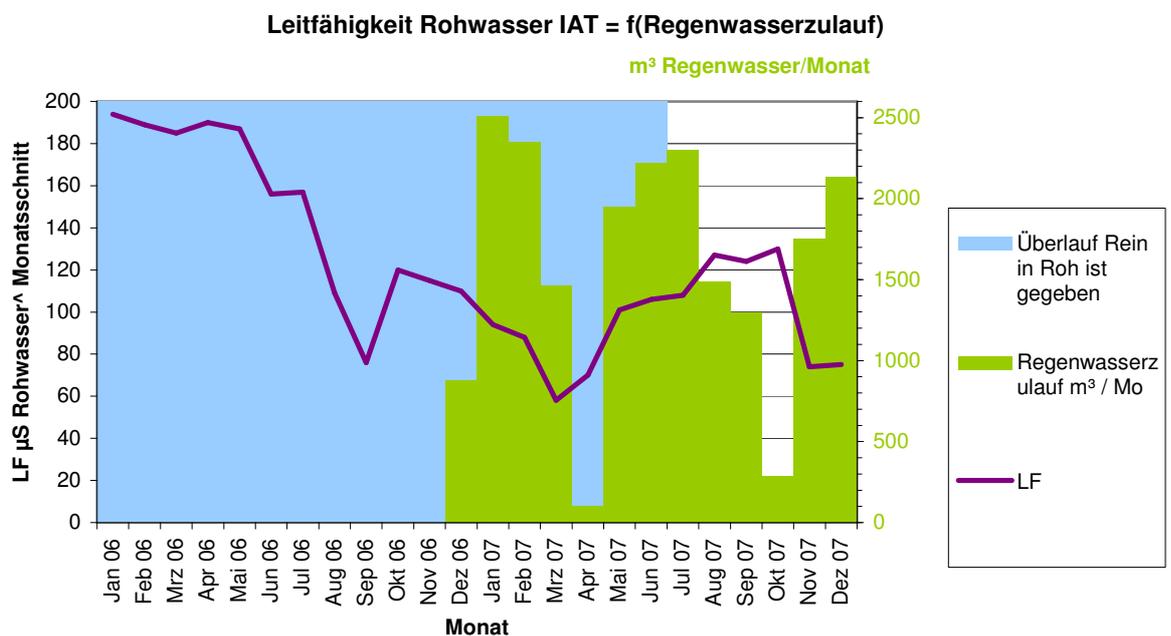


Diagramm Leitfähigkeit Rohwasser

Beispiele aus den Versuchen zur Einführung der pH-Kontrolle (es wurden regelmäßige Kontrollen mit Handmessgerät durchgeführt):

Nr	pH KA vor	pH KA nach	LF*) KA vor	LF KA nach	Bemerkungen
1	6,9	4,8	43	25	KA vorgeschaltet ist durchgebrochen, keine Regeneration eingeleitet. Auch der Nachgeschaltete ist erschöpft. Es hatte sich keine ausreichende LF-Differenz ausgebildet.
2	6,3	3,8	59	38	KA vorgeschaltet ist durchgebrochen, keine Regeneration eingeleitet. Nachgeschalteter i.O. Ausreichende Differenz bildet sich ggf. noch allerdings risikobehaftet
3	6,9	4,0	45,1	55,1	KA vorgeschaltet ist durchgebrochen, keine Regeneration eingeleitet. Nachgeschalteter i.O. Ausreichende Differenz bildet sich ggf. noch allerdings risikobehaftet
4	3,6	3,6	97	101	Beide KA sind sehr gut
5	7,3	7,0	129	126	Kompletter Durchbruch mit Betriebsstillstand. Ionentauscher sind nicht in Regeneration gesprungen da sich keine Leitfähigkeitsdifferenz ausbildete.

Tabelle pH-Wert Kationentauscher

Erforderliche Leitfähigkeitsdifferenz zur Regeneration bildet sich bei Einsatz von Regenwasser und oder hoher Rückführung von Prozesswasser mit niedriger Leitfähigkeit nicht zuverlässig aus.

\*)Leitfähigkeitsdifferenz: i.d. Regel sollte der nachgeschaltete eine höhere Leitfähigkeit aufweisen als der vorgeschaltete, da mehr H<sup>+</sup>-Ionen im Wasser vorliegen. Ausnahme: LF im Zulaufwasser hat sich kurzfristig erhöht. Bei Rohwassern welche auch Kreislauf, Regen und Stadtwasser bestehen ist dies dann der Fall, wenn gerade Stadtwasser zugespeist wurde.

#### 4.2.2. Kostenabschätzung

Bei Schweizer Electronic ist die Risikominimierung für Betriebsunterbrechungen erheblich, da seit der Automatisierung der redundanten pH-Überwachung als Regenerationskriterium kein Betriebsstillstand aufgrund eines Alarms „Leitfähigkeit des Reinwassers schlecht“ erfolgen musste.

### 4.3. Einsparung durch Nutzung von Regenwasser

#### 4.3.1. Regenerationen der Kationentauscher verringern

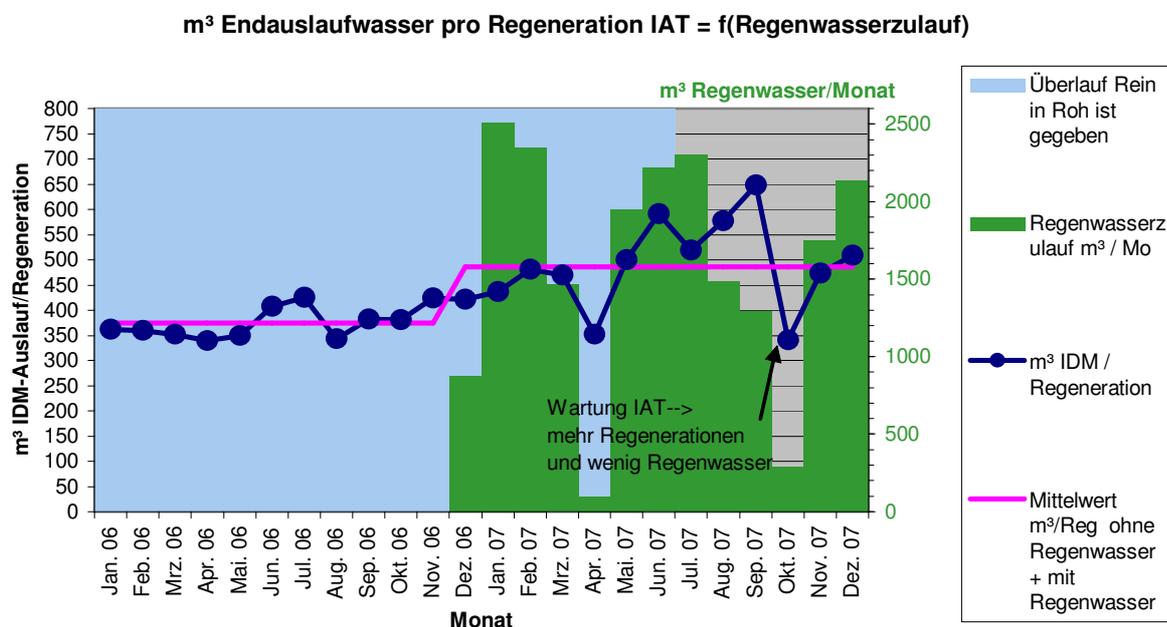


Diagramm m<sup>3</sup> Zulauf pro Regeneration

Als Maßstab: Wasser welches in die Kanalisation geht (Endauslauf; IDM). Nachdem Regenwasser mit in die Anlage Eingespeist wurde gingen die Regenerationen um gut 20 % zurück. Vor Regenwasserzulauf im Schnitt alle 375 m<sup>3</sup> Endauslaufwasser eine Regeneration, nach Regenwasserzulauf im Schnitt 485 m<sup>3</sup> Endauslaufwasser pro Regeneration. Der Überlauf von Rein in Rohwasser war vorübergehend aus Prozesstechnischen Gründen erforderlich.

#### 4.3.2. Kostenabschätzung

Einsparungen ergeben sich aus:

- Weniger Regenerationen Kationentauscher (Abwasser, Schonung der Harze)
- Weniger Zulauf Stadtwasser

Kosten durch Nutzung des Regenwassers:

- Investkosten Regenwasseraufbereitungsanlage
- Betrieb der Regenwasseraufbereitungsanlage (Energie, Abwasser)

Einsparung durch Nutzung des Regenwassers:

Das Reinwasser mit Regenwasser ist im Schnitt um 1% günstiger als ohne Regenwasser, bei den erheblichen Verbrauchsmengen ergeben sich etwa 23.000 €/Jahr.

Berücksichtigt: Frischwasser/ Energie/Chemikalien und Verbrauchsmaterialien von IAT und Betrieb Regenwasserfiltration/deren Filterspülung.

Da 20% weniger Regenerationen (Kationentauscher) stattfinden ist auch die ökologische Bilanz (auch unter Berücksichtigung der Reinigung der Filterrückspülwasser) positiv. Zur Ver-

deutlichung die Ionische Kontamination (Aufsalzung) des Wassers, welches aus der Neutralisation der Säure resultiert (Metallgehalt unberücksichtigt, da Erdalkalien aus Stadtwasser nicht erfasst) den Endauslauf verlässt:

Pro Regeneration 151 kg Cl<sup>-</sup> und 98,2 kg Na<sup>+</sup>; dies entspricht 248,8 kg NaCl. Umgerechnet auf ein Jahr (Datenbasis 2007) sind dies: 7714 kg Kochsalz/Jahr weniger.

Da die Ionische Kontamination durch die Neutralisation der Filtrerrückspülwasser viel geringer als jene durch eine Regeneration ist (1/100), wurde diese nicht berücksichtigt.

#### 4.4. Kostenvorteile Nutzung saurer Ätzer (CuCl<sub>2</sub>) bzw. andere Abfallprodukte zur Fällungsunterstützung

##### 4.4.1. In der Abwasseranlage allgemein

Es wird Schlamm mit hohem Kupferanteil, resultierend aus der Tatsache dass saurer Ätzer zur Fällungsunterstützung statt Eisensalze eingesetzt wird, produziert. Durch den Einsatz von Kupfer statt Eisen werden bessere Verwertungspreise erzielt. Ausgehend davon, dass statt Kupferchloridlösung Eisenchloridlösung eingesetzt werden würde ergäbe sich etwa folgendes Bild (Datenbasis 2007):

Verwertung Kostet	Verwertung neutral oder gewinnbringend (100%)
-50 €/to	+10 €/to

Tabelle Schlamm

Desweiteren ergibt sich durch die Nutzung des CuCl<sub>2</sub> gegenüber der EisenIIIchloridlösung ein etwa 3,6-Facher Kostenvorteil welcher sich aus der Differenz Einkaufspreis FeCl<sub>3</sub>-Lösung zur Vergütung des sauren Ätzers ergibt (auf Metallgehalt rückgerechnet).

Die Umweltvorteile welche dadurch entstehen, dass anstelle der aufbereiteten Chemikalie (FeCl<sub>3</sub>-Lsg) die aus einem Prozess anfallende verwendet wird können leider nicht genau verifiziert werden.

##### 4.4.2. Einsparungen durch geschickte Führung bei Zinnbehandlung

Grundlage dieser Berechnung ist die durchschnittliche Menge an Metallsalzen und Kalk, welche im Verlauf eines Jahres zur Behandlung der chemisch Zinn Spülwässern und Konzentraten zugegeben wurde.

Zugabe der Fällungshilfsmittel, jeweils nicht gemischt, pro m<sup>3</sup> chemisch Zinn Spülwasser-Konzentratmischung (Datenbasis 2007):

CuCl <sub>2</sub> €/m <sup>3</sup>	FeCl <sub>3</sub> €/m <sup>3</sup>	CaCO <sub>3</sub> €/m <sup>3</sup>	Kupferbad
1,77	6,3	0,94	0

Tabelle Einsparung Zinnbehandlung

Zur Behandlung mit Kalk ist zu sagen, dass diese zwar möglich ist, die besseren Ergebnisse (Filtrierbarkeit über Presse) jedoch mit Mischungen aus Metallsalz und Kalk erzielt werden.

Auch bei dieser Behandlung ist wieder der Umweltaspekt zu beachten: Abfallprodukt statt Neuprodukt mit entsprechend weniger Umweltbelastung wird eingesetzt.

## 4.5. Vergleich Resistenzwässerung mittels Zentrifuge im Vergleich zu Resistenzwässerung mittels Presse

### 4.5.1. Vorversuche

Mit den Vorversuchen im Labormaßstab wurde ermittelt, ob dieses Verfahren vom Prinzip funktioniert, ob der Trockengehalt des Resistfilterkuchens an jenen der Zentrifuge reicht und auch welches Filtertuch geeignet wäre. Desweiteren wurde untersucht, inwieweit sich der Trockenrückstand des Resists durch einfaches Abtropfen erhöht.

Die ermittelten Ma% Trockenrückstand sind nicht als absolute Werte sondern nur als Vergleichswerte zu betrachten.

Presse: Rahmenfilterpresse Laborgröße, mit knapp 200 ml Rauminhalt

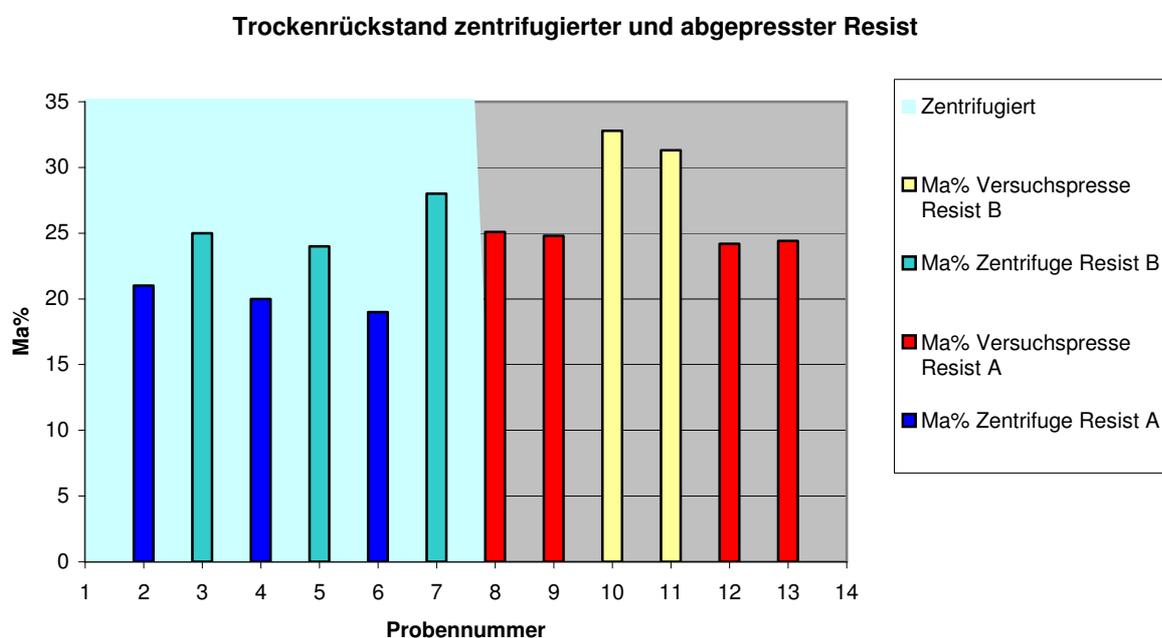


Diagramm Trockenrückstand Zentrifuge

Die Versuchspresse liefert genauso gute Ergebnisse wie die Zentrifuge unter Betriebsbedingungen. Unter Laborbedingungen würde wohl die Zentrifuge bessere Ergebnisse liefern. Die Ergebnisse sind auch abhängig vom eingesetzten Resisttyp. Zum Einsatz kamen Filtertücher der Spezifikation Monofil, kalandriert. Zwischen unterschiedlichen Tüchern der Spezifikation konnten keine signifikanten Unterschiede ausgemacht werden. Andere Tücher (Spezifikation Multifil) sind nicht geeignet.

## 4.5.2. Pilotversuche

Presse: Kammerfilterpresse mit 24 l Rauminhalt

Die Ergebnisse aus dem Laborversuch wurden bestätigt. Zusätzlich wurde bei dieser Presse der Einfluss „Trocknen des Kuchens mit Luft“ vor dem Öffnen der Presse untersucht, um zu ermitteln, wie lange eine Druckluftbeaufschlagung sinnvoll wäre.

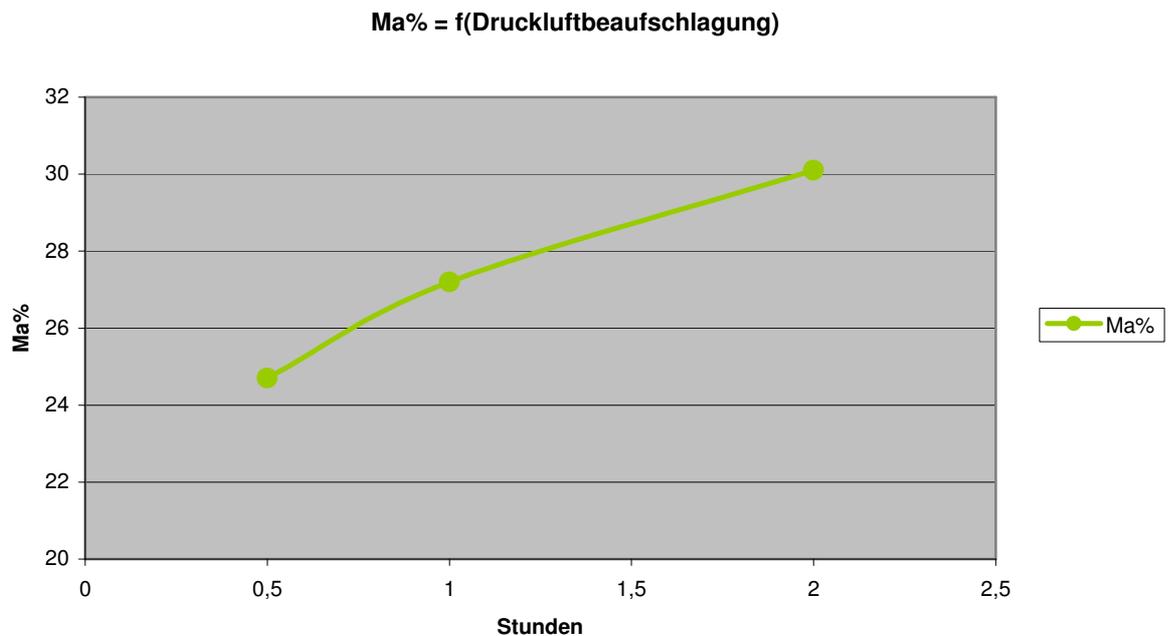


Diagramm Druckluftbeaufschlagung

Als Konsequenz aus den Versuchen wurde eine Kammerfilterpresse in der Praxis eingesetzt

### 4.5.3. Praxis

Presse: Kammerfilterpresse Typ 630\*630\*44  
 Druckluftbeaufschlagung: 1,5 h  
 Visualisiert, bis auf Entleerung automatisch.  
 Haltbarkeit der Tücher: noch Originaltücher aufgezogen (fast 4 Jahre Betrieb)  
 Reinigbarkeit: leicht und problemlos (Kuchen fällt bei Öffnen).

Praxis Trockengehalt in Ma% des Resists

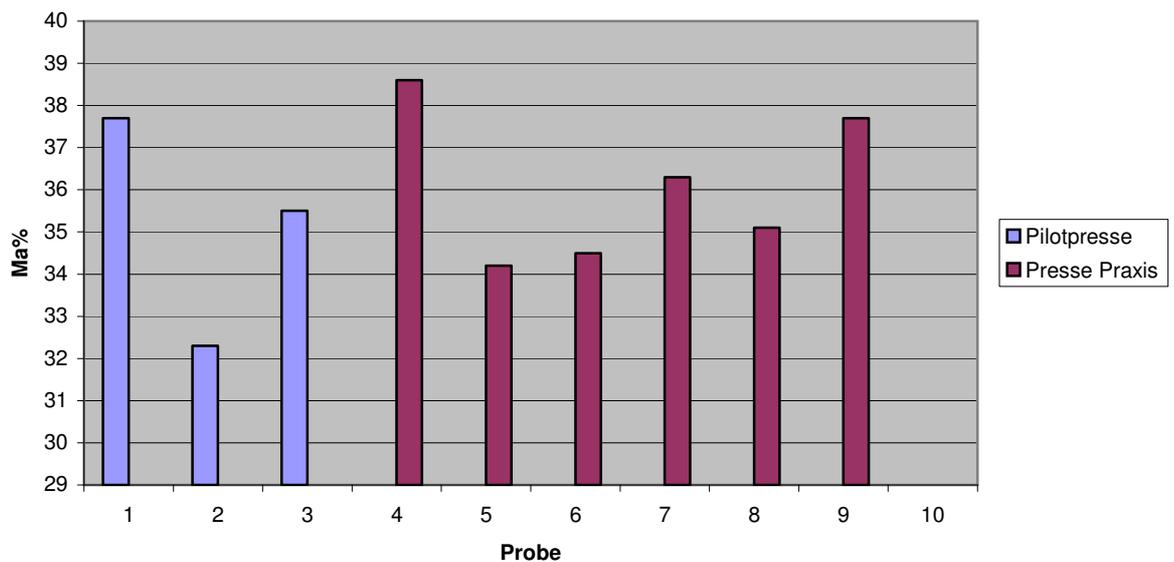


Diagramm Trockenrückstand Praxis

Der Betrieb in der Praxis hat die Ergebnisse des Pilotmaßstabes bestätigt. Datenerfassung der Presse direkt nach Inbetriebnahme.

### 4.5.4. Anfallende Entsorgungskosten Resiste

Durch den Betrieb der Ultrafiltration und der Festresistpresse fallen die Abfälle „Flüssigresist“ und „Festresist“ an. Datenbasis 2007.

	Flüssigresist aus UF	Festresist aus Presse	Festresist nicht gepresst sondern mit in UF „falls“ Fall
to Abfall im Auswahljahr	335	92	162
Kosten T€	64	25	31
Ma% ca	17	30	17

Tabelle Entsorgung Resist

Durch das Abpressen ergeben sich gegenüber einer potentiell möglichen Einspeisung zur UF ein Kostenvorteil von etwa 6 T€ pro Jahr ohne die Berücksichtigung der nachfolgenden Posten.

Neben der Auswirkung Kosten durch Abfall sind auch noch weitere Kosten durch die UF zu beachten als da wären:

- Größere Anlage (Invest)

- Häufigere Reinigungen der Membranen (Arbeit, Anlagenverfügbarkeit, Wasseranfall)

Desweiteren sind die Betriebskosten der Presse äußerst gering gegenüber dem UF-Betrieb. Chemikalien für die Neutralisation des Filtrates sind nicht berücksichtigt, da sie in beiden Fällen anfallen.

Falls, als Alternative zur Behandlung des Resists mit UF/Presse das klassische Fällverfahren angewendet werden würde, so würden sich folgende Kosten zur Entsorgung/Behandlung ergeben (Datenbasis 2007):

	<b>Fällverfahren mit Metallsalz €/m<sup>3</sup> Resist</b>	<b>Ultrafiltration €/m<sup>3</sup> Resist</b>	<b>Festresist über Presse €/m<sup>3</sup> Resist</b>
CuCl <sub>2</sub> -Lsg	9 - 15	0	0
FeCl <sub>3</sub> -Lösung	21 - 38	0	0
Energiekosten, Verbrauchsmaterialien	4	4,0	0,6
Abfallentsorgung	+2	7,8	4,2
Anmerkung	Neutralisation der Soda nicht berücksichtigt da bei allen Verfahren relevant. Das Fällverfahren gibt nur eine Schätzung wieder, da bei Schweizer Electronic nicht angewendet und somit keine Optimierung des Verfahrens vorliegt. Abfall, grobe Schätzung, Entsorgung wg. Hohen Metallgehaltes in Verwertung		Entsorgung / m <sup>3</sup> Ca. Wert

Tabelle Alternative zu UF

Als besonders negativ fällt beim Fällverfahren wieder eine Aufsalzung der Wasser von 7,5 bis 15 kg/m<sup>3</sup> Neutralsalz (als NaCl) auf , hervorgerufen durch das Metallsalz zu Fällung und dessen Neutralisation.

Alternativ zur Behandlung mittels UF oder Metallsalz kommt auch ein Produkt auf Tonmineralienbasis in Frage. Dies wurde im Hause Schweizer jedoch nicht getestet.

## 4.6. Behandlung goldhaltige Wasser über Ionentauscher - Restgoldgehalte

### 4.6.1. Goldgehalt des Harzes

Beladung des Harzes hat sich nahezu verdoppelt

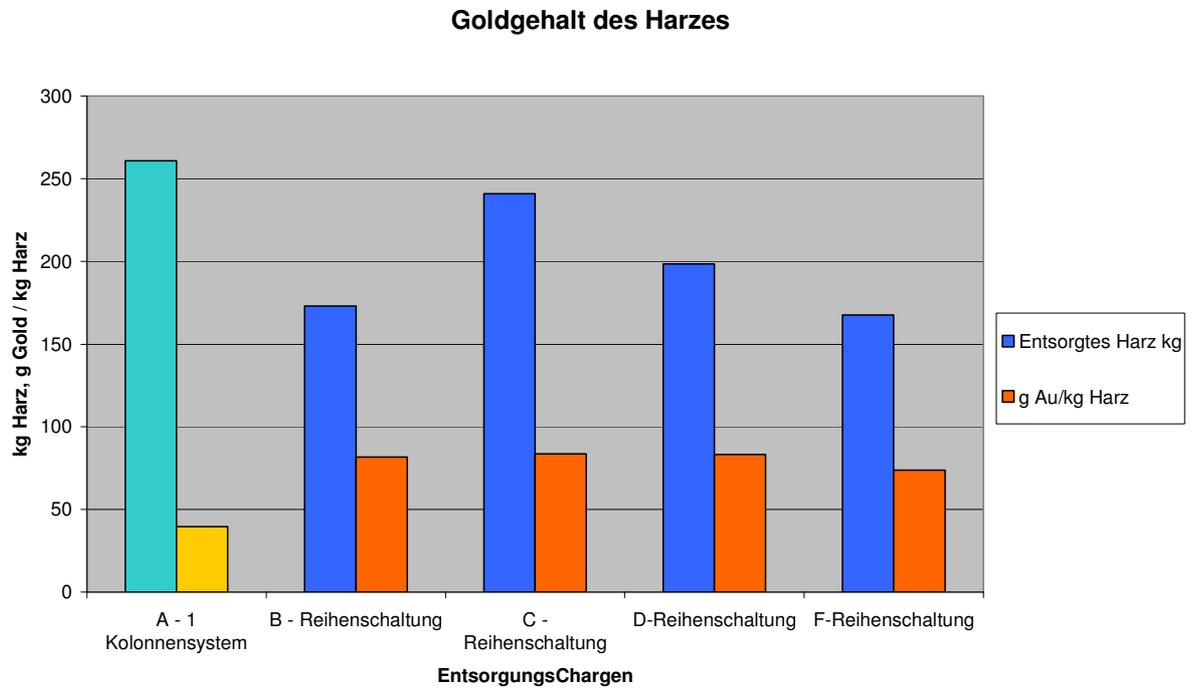


Diagramm: Harzentsorgung

Einsparpotential hierdurch: Harzkosten und Aufbereitungskosten für das Gold

### 4.6.2. Goldgehalt des Auslaufs nachgeschalteter Ionentauscher

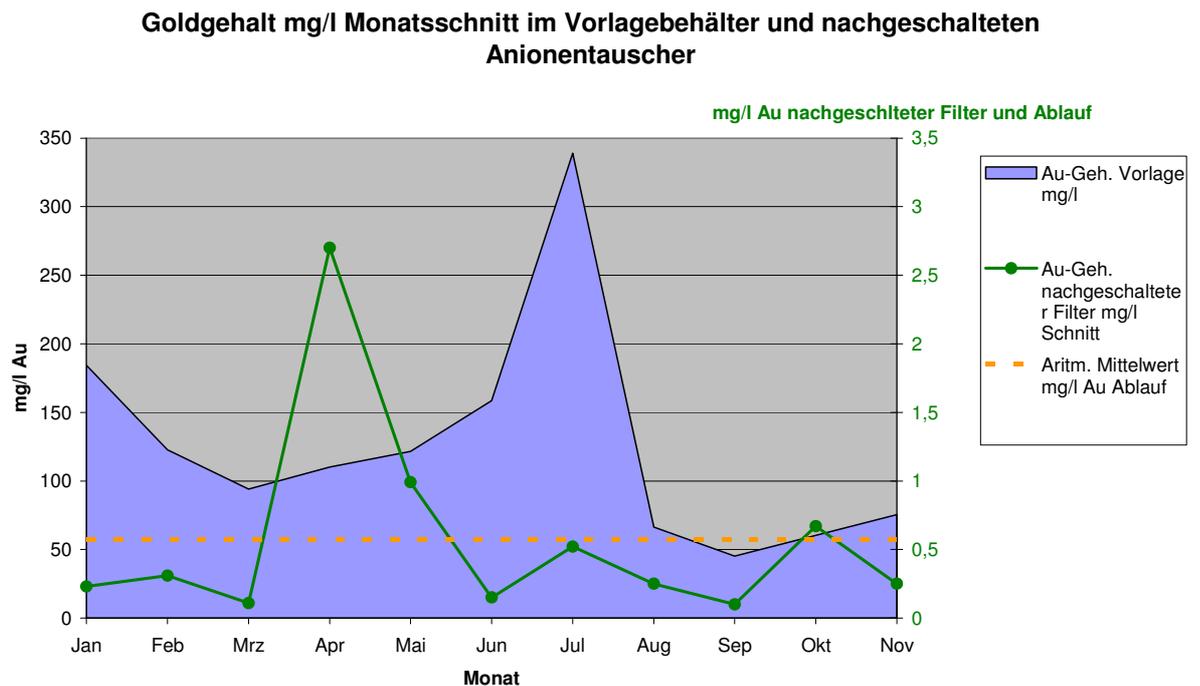


Diagramm Goldgehalt Ablauf Filter

### 4.6.3. Beispielhafte Kosten und Gutschriften aus der Entgoldung mit Reihenschaltung

1-Kolonnensystem: 20 mg/l Au Auslauf vor der Installation der Reihenschaltung. Daten der Reihenschaltung < 1 mg/l Au Auslauf nach dem zweiten Filter:

Angaben: pro m <sup>3</sup> goldhaltiges Abwasser, gleiches Bezugsjahr (vgl 4.6.2)					
1-Kolonnensystem			Reihenschaltung		
Erlös in €/m <sup>3</sup>	Kosten Au nicht Ausgetauscht und in Kanal €/m <sup>3</sup>	Kosten Aufbereitung Harz € / m <sup>3</sup>	Erlös in €/m <sup>3</sup>	Kosten Au nicht Ausgetauscht und in Kanal €/m <sup>3</sup>	Kosten Aufbereitung Harz € / m <sup>3</sup>
1068	400	7,3	1448	20	7,3

Tabelle Kosten und Gutschriften Entgolden

Abzüglich etwa 1% des gewonnenen Goldes an Raffineriekosten. Der Erlös durch das Gold konnte um mehr als 50% gesteigert werden, im Fall von Schweizer Electronic macht dies eine 5-6 stellige Zahl aus!

## 5. Wirtschaftliche Betrachtung der Investitionen der technisch potentiellen Lösungen

Den Einsparungen stehen auch notwendige Investkosten gegenüber. Bei diesen Kosten ist zu beachten, dass erhebliche Anteile in Eigenleistung (Planung, Installationen) mit berücksichtigt sind:

Anlage	Erforderliche Investkosten T€ (ca.)	Alternative	Sonstige Gründe Installation	Anmerkung
Festresistpresse Visualisiert, Zentral, incl Puffer, Verrohrung, MSR	157	geringer	Sicherheit + Sauberkeit	Variante: Statt 3 Vorortzentrifugen 1 zentrale Presse. Diese Kosten sind in Alternative gelistet. Kapazität: etwa 6 bis 8 Zentrifugen können durch Presse ersetzt werden. Amortisation: Differenz Invest zu Alternative (3 Zentrifugen, manuell) Abfallkosten und Reparatur Zentrifugen.
Zinnbehandlungsstrecke	329	entf	Umwelt+ Kapazität	
Reihenschaltung Entgoldung mit Puffern, Verrohrung, Vorortschaltung und MSR			Anlagenverfügbarkeit, Kosten	Keine Förderung
Regenwasseraufbereitung, Visualisiert mit Puffer, Verrohrung, MSR und Oxidationsmittelstation	210	Entf.	Umwelt	Incl. Erdspeicher
Ultrafiltration, Leistung 1000 l/h	405	geringer	Umwelt + Sauberkeit+ Kapazität	Ohne Ultrafiltration müsste eine zweite Komplex-freie Behandlungsstrecke und eine weitere Presse installiert werden, diese Kosten sind in Alternative abgeschätzt. Die Amortisationszeit ergibt sich aus Differenz zur Alternative und Differenz Behandlungskosten/Abfallkosten (Mittlerer Wert Beh. Mit CuCl <sub>2</sub> )
5er statt 3er Kaskaden und Optimierung der Spülwasserführung	401	Entf.	Umwelt Qualität	
PH-Redundanz Regeneration KA incl Einbindung in Visualisierung	10	Entf.	Umwelt Qualität	Durchführung im Rahmen einer Generalüberholung nur grober Schätzpreis. Für das angewendete System ist Integration in Steuerung/Visu erforderlich
IAT, Verteilung IAT	598	Entf.		
Nutzung von Saurem Ätzer und anderen Abfallstoffen	30	Etwas geringer	Umwelt	Nutzung des sauren Ätzers liegt bei den Investkosten in gleicher Größenordnung zur Nutzung von alternativen Fällunterstützungsmitteln. Beispiel für einen Extrapuffer um verworfene Elektrolyte zu nutzen incl. Visualisierung/Steuerung
<b>SUMME T€</b>	<b>2.140</b>			

Tabelle Invest

## 6. Empfehlungen

Als Empfehlung wurden die einzelnen Projekte gewichtet. Mit in die **Nutzen**-Gewichtung gehen folgende Position ein:

- Qualitätsrelevanz
- Sicherheitsrelevanz
- Umweltrelevanz

Der **Aufwand** wurde folgendermaßen skaliert:

- < 20 T€ Maxpunkte
- 20-50 T€
- 50-100T€
- 100-250 T€
- 250-500 T€
- 500-750 T€
- > 750 T€ keine Bewertung

Die Einschätzungen sind Schweizer Electronic Einschätzungen. Bei Überlegungen zur Verwirklichung müssen die jeweiligen Bedingungen im eigenen Betrieb ausgewertet werden.

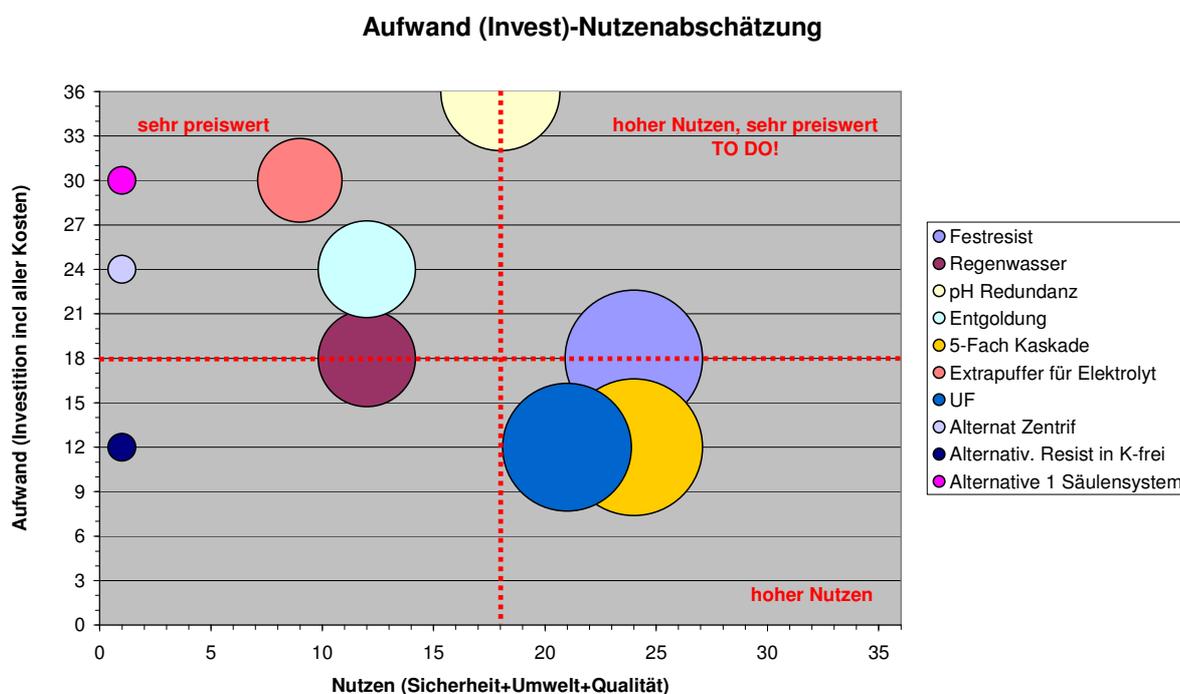


Diagramm Aufwand-Nutzenabschätzung

Aus Schweizer Electronic Sicht besonders empfehlenswert und nachrüsten:

- Lohnend (Invest/Amortisationszeit): Rückgewinnung von Edelmetallen bis auf geringste Restgehalte.
- Umwelt und Qualität: pH-Redundanz Regeneration der Kationentauscher
- Prüfen ob statt Eisensalzen e.t.c. Abfallprodukte aus der Herstellung zur Abwasser-aufbereitung eingesetzt werden können (Saurer Ätzer, Kupferbäder...)

Aus Schweizer Electronic Sicht bei Neukauf/Neuinstallationen/Neubau berücksichtigen:

- Sicherheit und Sauberkeit: Festresistpresse
- Umwelt und Qualität: 5-Fach-Kaskade
- Umwelt: Regenwasser (Erdspeicher sind erforderlich und nicht im Invest berücksichtigt)
- UF, falls eine zusätzliche Behandlung für die Resistabwasser erforderlich wäre unbedingt in Überlegung mit einbeziehen

## 7. Anhang

### 7.1. Abbildungs und Diagrammverzeichnis

Bild 5-Fach-Kaskade links, 3-Fach-Kaskade rechts.....	10
Bild 5-Fach-Kaskade Mehrfachnutzung.....	11
Bild 5-Fach-Kaskade Rückführung.....	11
Bild Spritzspüle und Tauchspritzspüle Galvanoautomat .....	12
Bild Spülen Galvanoautomat.....	13
Bild: Regen und Rohwasser.....	14
Bild: Trend Leitfähigkeit Rohwasserzulauf.....	15
Bild: Trend Regeneration .....	16
Bild: Ionentauscher zur Entgoldung.....	18
Bild Ultrafiltration.....	19
Bild Visualisierung Festresistpresse .....	20
Bild Festresist .....	21
Tabelle Spülen Innenlagenlinie .....	21
Tabelle Spülen Galvanoautomat .....	22
Tabelle Umwelteinschätzung Prozessanlagen .....	22
Diagramm Frisch und Abwasser l/m <sup>2</sup> .....	23
Diagramm Leitfähigkeit Rohwasser.....	24
Tabelle pH-Wert Kationentauscher.....	25
Diagramm m <sup>3</sup> Zulauf pro Regeneration .....	26
Tabelle Schlamm .....	27
Tabelle Einsparung Zinnbehandlung.....	27
Diagramm Trockenrückstand Zentrifuge.....	28
Diagramm Druckluftbeaufschlagung.....	29
Diagramm Trockenrückstand Praxis.....	30
Tabelle Entsorgung Resist .....	30
Tabelle Alternative zu UF.....	31
Diagramm: Harzentsorgung .....	32
Diagramm Goldgehalt Ablauf Filter.....	32
Tabelle Kosten und Gutschriften Entgolden.....	33
Tabelle Invest.....	34
Diagramm Aufwand-Nutzenabschätzung .....	35

### 7.2. Abkürzungsverzeichnis, Glossar

Au	chem. Zeichen für Gold
CN	Cyanid
CuCl <sub>2</sub>	Kupferchloridlösung
DN	Durchlaufneutralisation
Fe	Eisen
FeCl <sub>3</sub>	Eisenchloridlösung
IAT	Ionentauscheranlage
KA	Kationentauscher der IAT
Kas	Kaskade
K-Frei	Komplexbildner freie Chargenbehandlung
K-haltig	Komplexbildner haltige Chargenbehandlung
MA%	Massenprozent
LF	Leitfähigkeit µS
LP	Leiterplatte
pH	PH-Wert
Reinwasser	Wasser aufbereitet über die Ionentauscheranlage für die Produktion
Rohwasser	Zulauf zur Ionentauscheranlage, bestehend aus Kreislaufwasser, Stadtwasser, Regenwasser
UF	Ultrafiltration
UV	Ultraviolette Bestrahlung

### 7.3. Allgemeine weiterführende Literatur

Diese Literatur wurde als allgemeine Quelle für die Auslegung verfahrenstechnische der diversen Anlagen genutzt und stellt auch nur eine Auswahl dar.

- Hartinger, Abwasser und Recyclingtechnik in der Metallindustrie, Hanser Verlag
- Zeitschriften Galvanotechnik und Leiterplattentechnik, diverse Artikel zur Grundlageninformation
- DVGW – Handbuch, diverse Autoren, Wasseraufbereitung für Ingenieure, Oldenbourg Verlag
- Datenblätter Lewatit-Harze von Bayer, Datenblätter Harze Rohm und Haas
- Brauer, Behandlung von Abwässern, Springer Verlag
- Rautenbach, Membranverfahren, Springer Verlag
- Holleman/Wiberg, Lehrbuch der anorganischen Chemie, Verlag deGruyter

### 7.4. Unterstützung durch Hersteller und Lieferanten

Schweizer Electronic möchte auch die Hersteller und Lieferanten, welche sich in besonderer Weise unterstützend für die Entwicklung von den in diesem Bericht vorgestellten Verfahren hervorgeraten haben erwähnen und sich für deren Hilfe bedanken:

- Bayer, Anwendungstechnik Lewatit Ionentauscherharze
- Harzlieferrant Obermeier GmbH & CO.KG
- Andritz (Netzsch), Filterpressen
- Schuhmacher-Pall, Keramikfilter

Die Hersteller und Lieferanten haben uns durch kostenlose Proben, zur Verfügung stellen von Testanlagen und/oder mit Rat und Tat beigestanden.