

# Betriebskosteneinsparung bei der Prozesswasser-Aufbereitung

von Diplom Ing. (FH) Herbert Hauser, Hauser + Walz GmbH, CH-8416 Flaach  
und Claudio Kübler, ProWaTech AG, CH-8416 Flaach

## Einleitung in das Thema

Eine stabile und dauerhafte Verbindung zwischen dem Metalluntergrund und der Pulverbeschichtung ist nur auf einer sehr sorgfältig gereinigten Oberfläche sichergestellt. Das Ergebnis der chemischen Vorbehandlung ist immer darauf ausgerichtet, eine qualitativ hochwertige Konversionsschicht auf der Metalloberfläche zu schaffen, die zusammen mit der Pulverbeschichtung den erforderlichen Korrosionsschutz ermöglicht.

Die Spülung der Teile mit Wasser zwischen und nach jedem nasschemischen Prozessschritt beeinflusst direkt die Beschichtungsqualität. Der Einsatz qualitativ hochwertigen Spülwassers und hoher Quantitäten zur Erzielung höchster Beschichtungsqualitäten steht konträr zu dem steigenden Kostendruck, gerade in Hochlohnländern, wie der Schweiz oder Deutschland. Hinzu kommen gesetzliche Anforderungen an umweltschonende und somit abwasser- und abfallarme Prozesse in der Vorbehandlung ("Stand der Technik"). Die gesetzlichen Anforderungen an die Reinigung der Restabwässer vor der Einleitung in die Kanalisation werden ständig verschärft. Durch neue Verordnungen, wie GHS, POP, RohS, WEEE oder EVL müssen Prozesslösungen, die einen direkten Einfluss auf die Aufbereitung der Spül- und Abwässer haben, laufend angepasst werden.

Die Anlagenbauer erfreuen sich zurzeit über volle Auftragsbücher, da viele Prozesswasser-Aufbereitungsanlagen nach 15 bis 25 Jahren Betrieb einer Modernisierung (Retrofit) unterzogen werden müssen. Welche Verfahren und Technologien zur Prozesswasseraufbereitung aus heutiger Sicht zu einer Effizienzsteigerung und nicht nur zu einer Ersatzbeschaffung führen, soll dieser Beitrag beantworten.

## Detaillierte IST-Analyse und verfahrenstechnische Auslegung

Eine detaillierte Betriebsdatenerfassung der nasschemischen Vorbehandlungsanlage vermeidet Fehlplanungen bei der Prozesswasseraufbereitung. Wesentliche Betriebsdaten aus der Produktion zur Auslegung von Wasseraufbereitungsanlagen sind:

- Grundmaterial (und deren OF-Verunreinigung)
- Chemische Verfahren (Zusammensetzung)
- Chemikalienbedarf (Zusätze, Ansätze)
- Spültechnik (Anzahl Spülstufen)
- Warendurchsatz (Fläche pro Zeiteinheit)
- Arbeitszeiten (pro Jahr)
- Behördliche Anforderungen (zur Abwassereinleitung)
- Räumliche Situation (freie Gefälleleitungen)

Hilfreich hierzu sind Formblätter, wie Badlisten, analytische Erfassung der Verschleppung oder typische Komplexbildner in der Oberflächenbehandlung, die durch die Verfasser des Referates kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Anhand der Betriebsdatenerfassung aus der Produktion werden die Berechnungsgrundlagen für die Prozesswasseraufbereitung, wie Frischwasser-Vollentsalzungsanlage, Spülwasser-Kreislaufanlage und Abwasser-Behandlungsanlage erstellt. Diese beinhalten unter anderem:

- Verschleppung von Prozesslösungen
- Spülkriterien (Verdünnungsgrad)
- Spülwasserqualitäten in jedem Spülschritt
- Spül- und Abwasserquantitäten
- Optimierung der Spültechnik
- Auswahl von Reinigungsverfahren zur Standzeitverlängerung
- Auswahl von Spülwasser-Kreislaufverfahren
- Behandlungsprogramm zur Abwasserreinigung
- Schlammanfall und Chemikalienbedarf
- Erwartete Schadstoffrestgehalte im behandelten Abwasser

Im Referat werden typische Kennwerte aus der Praxis vorgestellt, wie:

Spezifische Verschleppungen  
 Spülkriterien (Verdünnungsgrad)  
 Spezifischer Abwasseranfall pro Fläche (Warendurchsatz)

Des Weiteren werden typische Betriebskosten vorgestellt.

<b>Verfahren</b>	<b>Technologie</b>	<b>Kosten pro m<sup>3</sup></b>
vollentsalztes Wasser* (20 µS/cm)	Umkehrosmose	EUR 01,60
Spülwasser-Kreislauf	via Ionenaustauscher	EUR 00,15
Spülwasser-Kreislauf / Abwasser-Reinigung	Ionenaustauscher / physikalisch, chemische Abwasseranlage	EUR 45,00
Spülwasser-Kreislauf/ Abwasser-Reinigung	Ionenaustauscher / Brüdenverdichter	EUR 65,00

\* ohne Frisch- und Abwassergebühren

## Ressourcenschonung und simultane Kosteneinsparung

Schwerpunkt der verfahrenstechnischen Planung sind die Ausarbeitung von präventiven Maßnahmen zur Abwasser- und Abfallminimierung, durch:

1. Substitution von gefährlichen Stoffen
2. Verminderung der Verschleppung in die Spülen
3. Rückführung der Verschleppungen in die Wirkbäder
4. Standzeitverlängerung der Aktivbäder
5. Rückgewinnung des Spülwassers durch Kreislaufführung

Durch ein prozessintegriertes Recycling in der Vorbehandlungsanlage, bestehend aus einer Standzeitverlängerung von Prozesslösungen (Entfernung von Störstoffen) in Verbindung mit einer Rückgewinnung der Verschleppungen (Spülwassereindampfung oder Ergänzung von Verdunstungsverlusten), lassen sich massiv Kosten für den Einkauf von Prozess- und Abwasserchemikalien sparen. Der Abwasser- und Schlammanfall reduziert sich. Beispiele für bewährte Verfahren zur Standzeitverlängerung sind:

- Leichtstoffabscheider oder Querstrom-Mikrofiltrationen für Entfettungen
- Korbzentrifugen oder Filterpressen für Phosphatierungen
- Kationenaustauscher für Chromatierungen oder Phosphorsäure-Beizen

## Wasserqualitäten und deren Aufbereitungsverfahren

Es gibt Dinge, die für jeden Betrieb, in dem Menschen und Maschinen arbeiten, unerlässlich sind. Trinkwasser gehört in jedem Fall dazu. Speziell aufbereitetes Wasser = Prozesswasser statt Trinkwasser, wird vermehrt in der nasschemischen Produktion zum Ansatz und zur Ergänzung von Prozesslösungen eingesetzt, für Spülzwecke, Reinigungszwecke, Kühl- und Heizungsanlagen, im Labor etc.

Folgende Wasserqualitäten und Aufbereitungsverfahren stehen zur Verfügung:

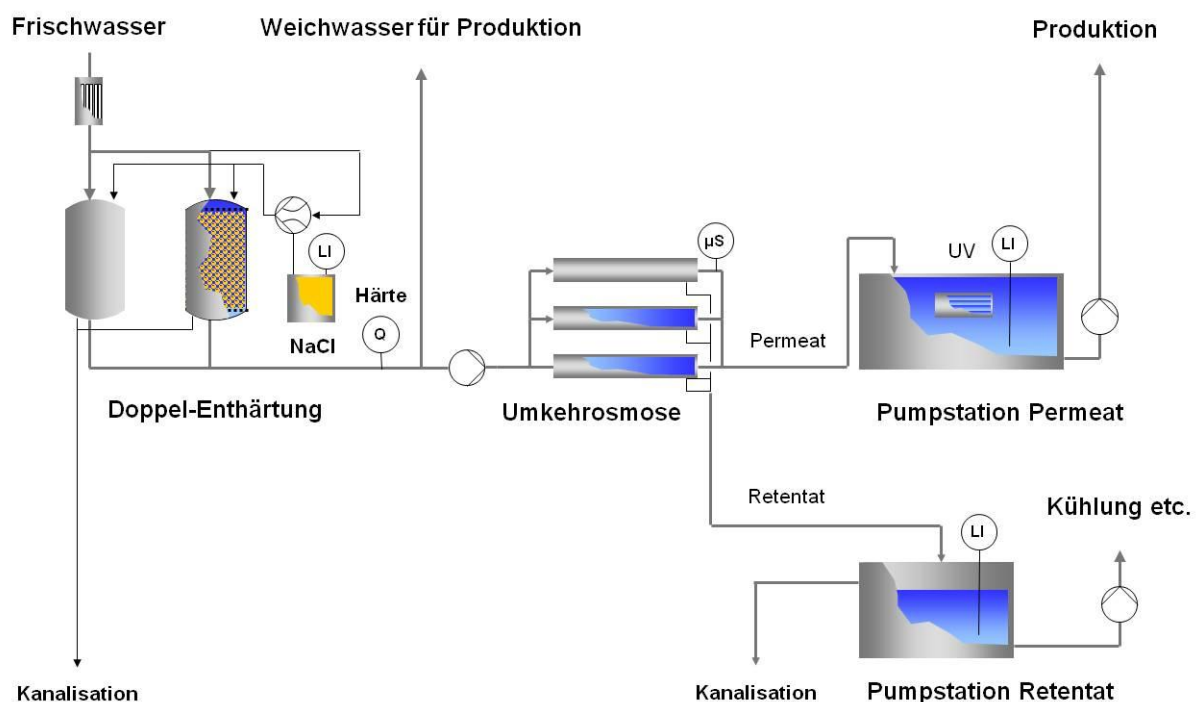
<b>Qualität (Trivialnamen)</b>	<b>Leitwerte (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Salzgehalte (<math>\text{mg}/\text{l}</math>)</b>	<b>Aufbereitungsverfahren</b>
Trink- und Brunnenwasser (Frischwasser, Stadtwasser)	300 - 800*	150 - 600	keine
Enthärtetes Wasser (Weichwasser)	wie Pos. 1, leicht höher	wie Pos. 1, jedoch Mg, Ca, Sr, Ba durch Na ersetzt	Enthärtungsanlage
Vollentsalztes Wasser (Reinwasser, Osmosewasser etc.)	1 - 30	0,5 - 20	Umkehrosmoseanlage (Zulauf = 0 °dH oder Antiscaling -Dosierung) oder Ionenaustauscheranlage (Kationen und Anionen)
Vollentsalztes Wasser (Reinstwasser)	< 1	< 0,5	Verfahrenskombination aus: Enthärtung, Umkehrosmose sowie Mischbetaustauscher oder Elektro-Deionisation

\* Typische Werte in der Schweiz

Das häufigste Verfahren zur Herstellung von vollentsalztem Prozesswasser aus Trink- oder Brauchwasser in der Vorbehandlung ist die Umkehrosmose mit vorgeschalteter Enthärtung. Es gibt bei Bedarf zusätzliche Reinigungsverfahren wie Entgasung von gelöster Kohlensäure (CO<sub>2</sub>), Aktivkohle zur Bindung von organischen Stoffen sowie die Photooxidation (UV-Strahler) zur Entkeimung/Abtötung von Mikroorganismen.

Die Vorteile der Verfahrenskombination aus Enthärtung und Umkehrosmose gegenüber einem Ionenaustauscher (Kationen- und Anionenaustauscher) sind, dass es sich um ein physikalisches Verfahren ohne Handling von wassergefährdenden Chemikalien handelt, bei dem keine Neutralisation von Eluaten erforderlich ist. Das Membranverfahren entfernt zusätzlich Makromoleküle, wie zum Beispiel Huminstoffe aus Oberflächenwasser.

Nachfolgend ein Beispiel für ein Verfahrensschema über eine Umkehrosmose-Reinwasseranlage zur Erzeugung vom vollentsalztem Wasser:

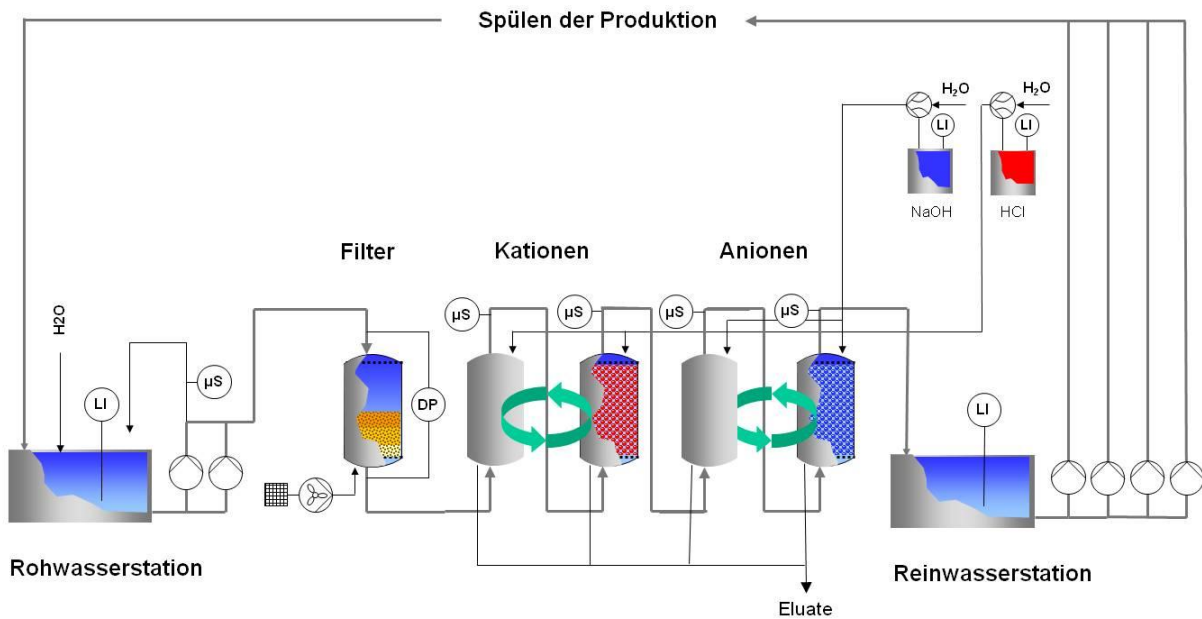


### Spülwasser-Kreislauf zur Abwasserminimierung

Die bekannteste Anwendung des Ionenaustauschers in der nass-chemischen Oberflächenbehandlung ist die Kreislaufführung der Spülwässer. Dadurch wird der „chemische Betriebsstoff“ Wasser zu über 95 % zurück gewonnen. In Bezug auf die Wasseraufbereitung war die Erfindung des Ionenaustauschers die wichtigste im zwanzigsten Jahrhundert.

Bei Salzkonzentrationen von bis zu 3 Equivalente/l Kationen und Anionen im Rohwasser (Feed des Ionenaustauschers) gibt es kein anderes Verfahren, dass die Spülwässer wirtschaftlicher im Kreislauf betreibt. Dies bedeutet auf der anderen Seite, dass hohe Salzfrachten im Eintrag der Fließspülen durch Vorspülen/Standspülen etc. reduziert werden sollten.

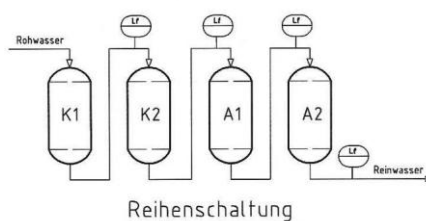
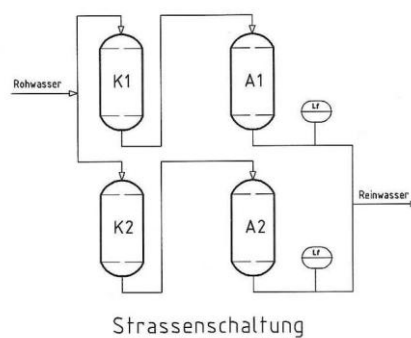
Nachfolgend ein Schema einer Ionenaustauscheranlage zur Spülwasser-Kreislaufführung:



Als "State of the art" bei der Kreislaufführung via Ionenaustauscher zählt der Reihenschaltung-Wechselbetrieb sowie die Aufstrombetrieb-Gegenstromregeneration, auch Schwebebett-Verfahren genannt. Dadurch werden gegenüber einer Strassenschaltung und einer Gleichstromregeneration mindestens 25 % Regenerierchemikalien eingespart und ebenfalls ca. 25 % Eluatanteil zur Abwasserbehandlung reduziert. Diese Einsparungen machen sich vor allem bei großen hydraulischen Leistungen resp. Salzfrachten bemerkbar.

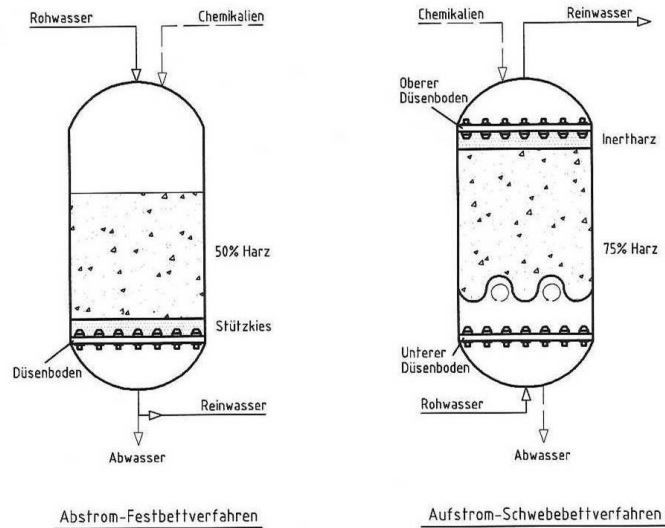
Bei der Reihenschaltung werden gegenüber einer Strassenschaltung gleichnamige Austauscher hintereinander geschaltet. Jeder Austauscher wird separat mittels Leitfähigkeit überwacht. Ist ein Austauscher beladen, wird dieser außer Betrieb geschaltet und einzeln regeneriert. Danach wird der Regenerierte, dem in Betrieb befindlichen Austauscher, nachgeschaltet.

Nachfolgend eine graphische Darstellung der Strassen- und Reihenschaltung:



Das Schwebebettverfahren wird zur Kreislaufführung deutlich häufiger in der Praxis eingesetzt als das Festbettverfahren (Abstrombetrieb-Gleichstromregeneration). Eine turnusmäßige Rückspülung in einem externen Behälter ist beim Schwebebettverfahren zu beachten.

Nachfolgend eine graphische Darstellung des Festbett- und Schwebebettverfahrens:



Typische Probleme in der Praxis beim Einsatz von Ionenaustauschern zur Kreislaufführung sind:

- Harzschädigende Stoffe
- Hohe Salzfrachten
- Ausfällungen
- Harzabrieb
- Mikroorganismen
- Querverschmutzungen

Trotz der vielfältigen Probleme, die in der Vergangenheit bei der Kreislaufführung von Spülwässern der Oberflächenbehandlung aufgetreten sind, bleibt der Ionenaustauscher DAS Verfahren der Wahl zur Abwasserverminderung. Die Vorteile des Ionenaustauschers sind hohe Wassereinsparung, die Erzeugung von vollentsalztem Wasser, hohe hydraulische Leistungen von 1 bis 50 m<sup>3</sup>/h und kostengünstiges Verfahren. Diese Wassereinsparung dient als Grundlage für eine chargenweise Behandlung der Abwässer, wie sie die Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwässern (Anhang 40) vorschreibt.

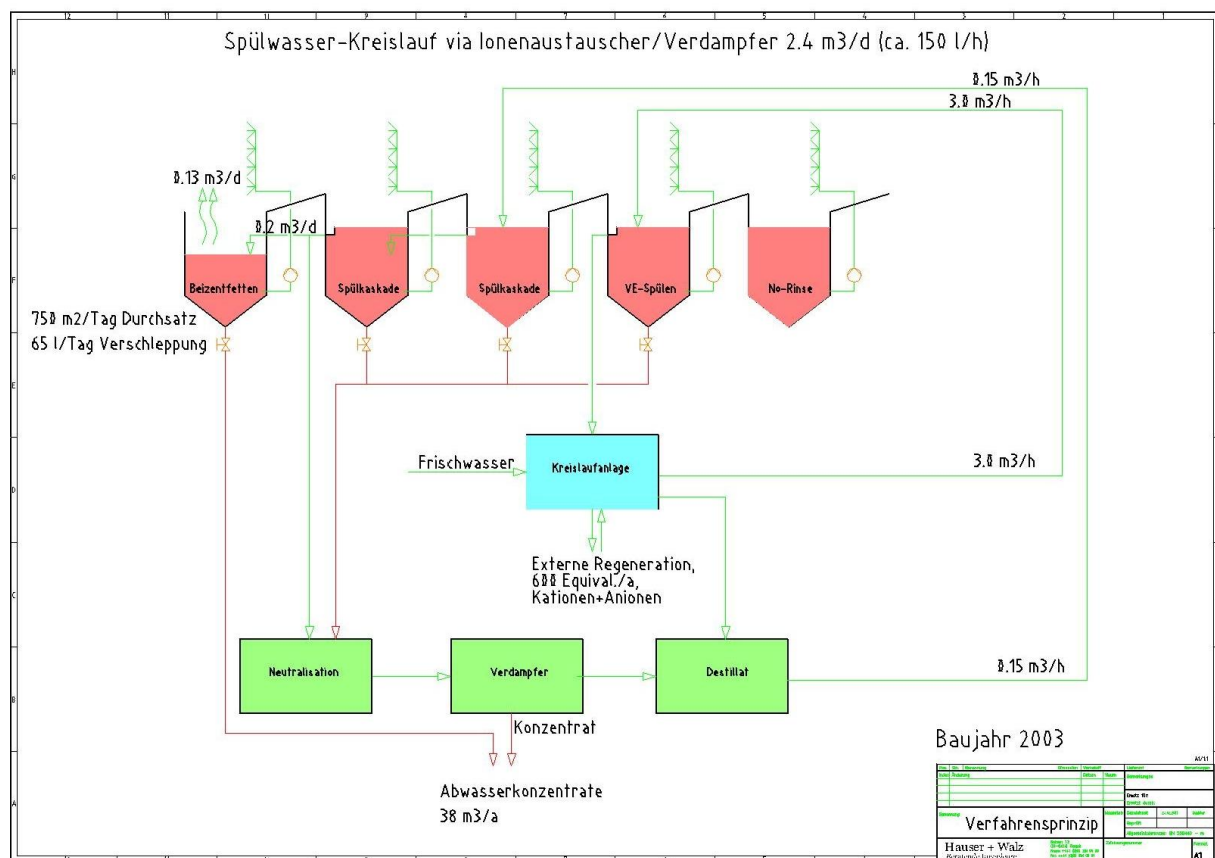
## Abwasserminimierung durch Vakuumverdampfer

Neben einer chemisch/physikalischen Abwasserbehandlung besteht die Möglichkeit, die Spül- resp. Abwässer unter Vakuum bei ca. 85 ° C zu verdampfen. Der entstehende Dampf wird bei Brüdenverdichter auf Umgebungsdruck komprimiert und dabei auf ca. 120 ° C erhitzt. Dieser leicht überhitzte Dampf wird dann verwendet um das in der Anlage zulaufende Abwasser zu verdampfen. Im Vergleich zum Vakuumverdampfer auf Basis Wärmepumpen ist in der Praxis nur maximal 120 kWh pro m<sup>3</sup> Abwasser statt max. 350 kWh/m<sup>3</sup> spezifische Energie erforderlich. Die Werte berücksichtigen die Siedepunkterhöhung salzreichen Abwassers sowie einen reduzierten Wärmeübergang durch Verschmutzung von Wärmeaustauscherflächen.

Die entstehenden Konzentrate - in der Regel noch 5 bis 10 % vom Feed - werden gestapelt und extern entsorgt. Dadurch entfällt die interne Behandlung von Abwasser inkl. deren Bedienung und behördlichen Kontrollen ("Abwasserfreies Konzept"). Außer einer pH-Wert Einstellung mit Natronlauge, ggf. Entschäumer und Reinigungslösung handelt es sich um ein physikalisches Verfahren mit einem minimalen Bedienungsaufwand. Das anfallende Destillat muss noch ggf. von Kohlenwasserstoffen befreit werden, bevor es wieder als salzfreies Wasser in die Vorbehandlung zurückgeführt wird (Kreislauf).

Neue Technologien bei der Verdampfung sind selbstreinigende Austauscherflächen und integrierte Systeme zur Abtrennung von Kohlenwasserstoffe im Destillat.

Nachfolgend ein Verfahrensprinzip einer realisierten Prozesswasseraufbereitungsanlage auf Basis Ionenaustauscher-Kreislauf und Abwasser-Eindampfung:



## Neuerungen bei der chemisch/physikalischen Abwasser-Behandlung

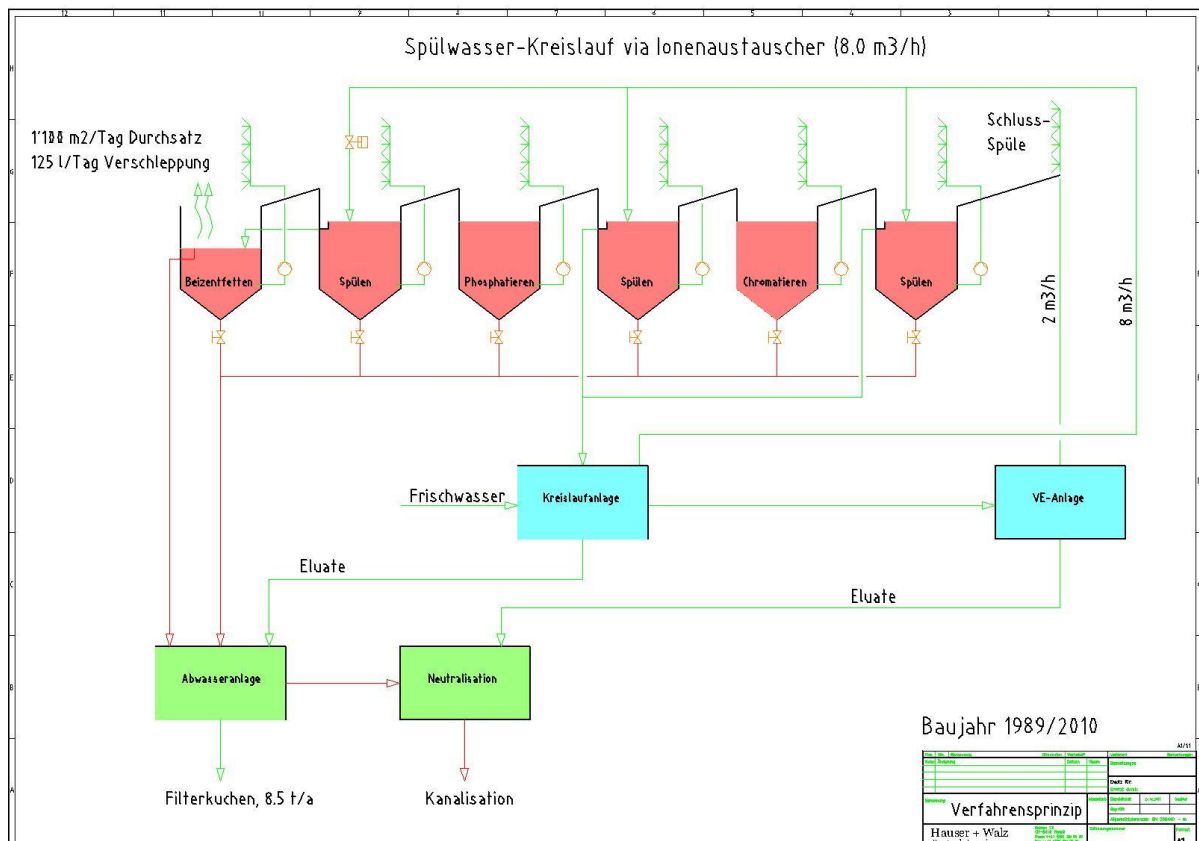
Die chemisch/physikalische Abwasserbehandlung der verbrauchten Aktivbäder, angereicherten Vorspülen, Regenerate der Ionenaustauscher sowie Boden- und Reinigungsabwässer und stellt ein sehr bewährtes und - gegenüber der Abwassereindampfung - ein kostengünstiges und flexibles Verfahren dar.

Wesentliche Neuerungen in der Anlagentechnik sind unter anderem:

- Absicherung gegen Überschwemmung durch Überfüllsicherungen mit automatischer Verriegelung des Frischwasserzulaufes
- Klarwasserabzug aus Chargenbehandlungen mit Mehrschichtfilter zur Erhöhung der hydraulischen Leistung zur Behandlung
- pH-Sonden mit kontaktloser, induktiver Signalübertragung, unempfindlich und einfach zu bedienen
- kontinuierliche und berührungslose Niveaumessungen für höhere Prozesssicherheit
- Automatischer Plattentransport und in Situ-Filtertuchreinigung für Kammerfilterpressen
- intuitive Bedienung mittels mehrfarbigen Touch Panel und Visualisierung
- Elektronische Registrierung sämtlicher relevanten Prozessdaten, wie pH-Wert, Redox, Leitwert, Temperatur, Drücke, Durchflüsse etc.

Weitere Neuerungen in der chemischen Behandlung der Abwässer sind universell einsetzbare Flockungsmittel in Pulverform auf Basis Bentonite sowie flüssige Spalt- und Koaguliermittel für stark kohlenwasserstoffhaltige Abwässer. Die Metallausflockung und Schlammentwässerung wird durch diese Produkte weiter optimiert. Auf den Einsatz von Kalkmilch, Eisen(III)chlorid, Eisen(II)sulfat etc. soll verzichtet werden, um den Schlammanfall zur externen Entsorgung zu senken.

Nachfolgend ein Verfahrensprinzip einer realisierten Prozesswasseraufbereitungsanlage auf Basis Ionenaustauscher-Kreislauf und interner Abwasser-Behandlung:





## Moderne Bedien- und Steuerungskonzepte

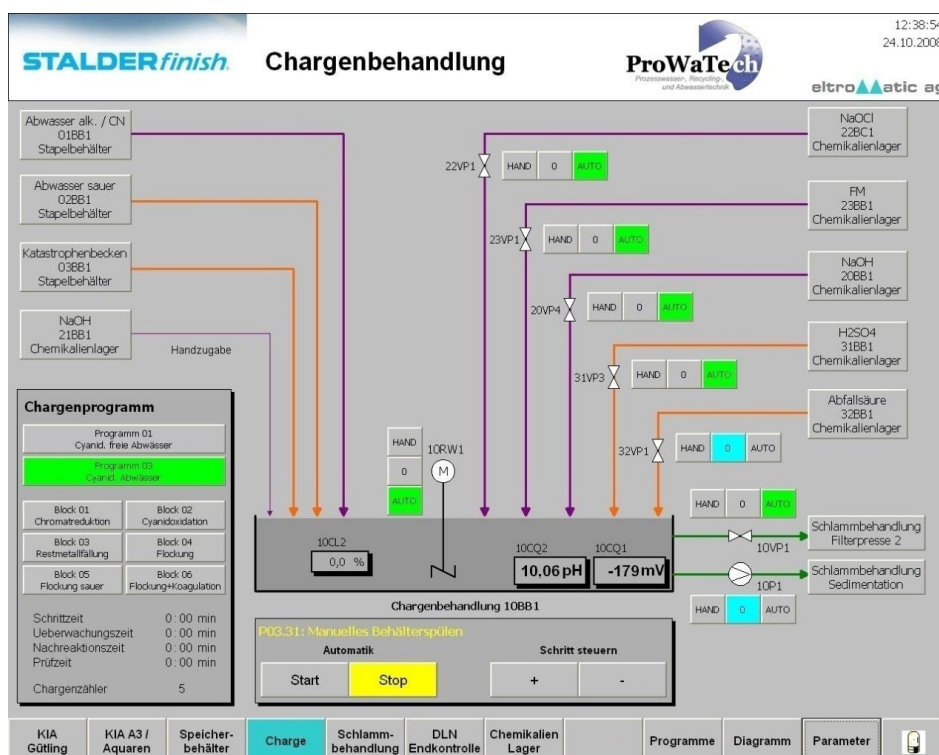
Wesentlicher Gesichtspunkt für moderne Steuerungen ist eine übersichtliche und selbsterklärende Bedienung der Gesamtanlage, gerade auch für angelernte Arbeitskräfte im Betrieb. Daher sind Touch Panels (berührungsaktive Bildschirme) mit Visualisierungs-Software zur Bedienung üblich, im Büro zusätzlich PC's mit Visualisierung.

Durch das immer größere Zusammenwachsen der Automations- mit den Informations-Technologien (IT), öffnen sich in der Prozess-Automation neue Horizonte. So lassen sich heute viele im Büro-Umfeld etablierte Werkzeuge und Funktionen auch im Anlagen- und Maschinen-Umfeld nutzen. Zu beachten bleibt, dass die Innovations-Zyklen in der IT wesentlich kürzer sind, als dies bei der Automation der Fall ist. Bei der Planung und Realisation sind somit die Ingenieure gefordert, diese in der Automation neuen Technologien sinnvoll und nachhaltig einzusetzen. Die Einhaltung von Grenzwerten und Randbedingungen wird immer stärker gefordert. Oft ist das Unternehmen gefordert, gewisse Nachweise diesbezüglich zu erbringen. Ein modernes Steuerungssystem kann hier auf breiter Ebene unterstützen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Service und die Unterstützung durch den Lieferanten des Steuerungssystems. Hier bieten die heutigen Systeme komfortable Möglichkeiten, um einen Fernzugriff für Diagnose und erste Hilfestellungen vorzunehmen. Die eher langsamen Modemverbindungen werden nun schon oft durch Zugangswege über das Internet abgelöst. Wichtig ist, dass in der Automation nicht blauäugig die neuesten Trends der IT eingesetzt werden. Nur robuste und gut verfügbare Systeme garantieren heute einen Lebenszyklus von 10 bis 15 Jahren.

Eine besondere Herausforderung ist ein Ersatz bestehender Steuerungen ohne Betriebsunterbruch. Hierbei muss ein besonderes Augenmerk auf folgende kritische Punkte gelegt werden:

- Fehlerfreie Steuerungshardware, im Herstellerwerk bis ins Detail geprüft
- Ressourcenplanung für die Umsetzung
- Kompetente und qualifizierte Projektleitung
- Software-Entwicklung basierend auf bewährten Standards mit Simulation



## **Resümee**

Kostenreduzierte und simultan umweltverträgliche Produktionsweisen stoßen immer mehr auf großes Interesse. Anhand der aufgeführten Beispiele ist ersichtlich, dass bei sorgfältiger Planung und Realisierung hochwertiger und bedienungsarmer Prozesswasseranlagen deutlich Betriebskosten eingespart werden. Voraussetzung für ein erfolgreiches Verfahren ist das Zusammenspiel von Prozesschemikalien, Vorbehandlungsanlagen (Spültechnik) und Prozesswasser-Aufbereitungsanlagen. Durch steigende Material- und Rohstoffpreise haben kostenreduzierte Verfahren deutlich an Bedeutung gewonnen.

Weitere Informationen erhalten Sie unter:

Hauser + Walz GmbH  
Beratende Ingenieure  
Botzen 12  
8416 Flaach ZH  
Tel. 0041 52 301 37 40  
Fax 0041 52 310 37 41  
info@hauserwalz.ch  
www.hauserwalz.ch