

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

# **Elimination von Phosphor aus Produktionsabwässern der Oberflächentechnik**

W. Leonhard, B. Maag, B. Göpfert

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)  
Stuttgart

Förderkennzeichen: BWC 20007

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des Landes  
Baden-Württemberg gefördert

Juli 2002

## Inhalt

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	2
<b>1</b>	<b>Motivation für das Vorhaben</b>	3
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	4
<b>3</b>	<b>Planung und Ablauf des Vorhabens</b>	5
<b>4</b>	<b>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</b>	7
<b>5</b>	<b>Zusammenarbeit mit anderen Stellen</b>	8
<b>6</b>	<b>Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms des Zuwendungsgebers</b>	9
<b>7</b>	<b>Ergebnisse</b>	9
<b>8</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	13
<b>9</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen, praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen</b>	19
<b>10</b>	<b>Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen, die während der Durchführung des Vorhabens erreicht wurden</b>	20
<b>11</b>	<b>Veröffentlichung der Ergebnisse</b>	20
<b>12</b>	<b>Anhang</b>	21
12.1	Einzelergebnisse der Elektrolyseversuche	21
12.2	Tabellen zur wirtschaftlichen Betrachtung	33
12.3	Literatur	41

## 0 Zusammenfassung

Im Vorhaben werden Verfahren zu Entfernung von Orthophosphit aus verbrauchten Chemisch Nickel-Elektrolyten untersucht. Nach den Ergebnissen wird die Elektrolyse zur Oxidation zu Phosphat und anschließende Fällung als Calciumphosphat als technisch befriedigendes Konzept realisiert und ein Grobkonzept für die entsprechende Anlagentechnik erstellt. Der Elektrolyseschritt wurde anhand von Elektrolytabfällen aus der Praxis erfolgreich überprüft. Das Verfahren kann technisch in der Praxis eingesetzt werden. Die Aufgabenstellung wurde somit technisch erfolgreich gelöst.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Behandlung von Orthophosphit unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen (Rechtslage, Deponiekosten) jedoch nur dann durchführbar, wenn eine kostenneutrale Verwertung des anfallenden (umweltneutralen) Schlammes an Stelle der Deponie gefunden wird. Die Alternative der Volumenreduktion des Abfallelektrolyten durch Eindampfen oder Verbrennung und anschließende Lagerung unter Tage ist kostenmäßig deutlich günstiger, wenn auch unter ökologischen Aspekten unbefriedigend.

Bei Änderung der Rahmenbedingungen -z.B. gesetzliche Vorgaben oder Deponiekosten- muss die wirtschaftliche Bewertung neu betrachtet werden. Für die Wahl geeigneter Verwertungs- bzw. Entsorgungswege wurden Entscheidungsgrundlagen erarbeitet. Wesentliche Kriterien sind dabei die Annahmebedingungen geeigneter Entsorgungsstellen und daraus resultierende Behandlung der Altelektrolyte.

## 1 Motivation für das Vorhaben

Nickel-Phosphor-Legierungsschichten finden Einsatz sowohl für den Korrosions- und Verschleißschutz als auch in den Bereichen Kunststoffmetallisierung / Shielding / Endoberflächen für die Elektronik. Der aktuelle Umsatz in Deutschland alleine an Chemie für diese Technologie wird auf jährlich 15 – 20 Mio € / a geschätzt, mit steigender Tendenz aufgrund zunehmender Einsatzbereiche für diese Schichten.

Die Abscheidung von Nickel-Phosphor-Legierungen erfolgt in der Regel aus außenstromlosen Elektrolyten (Chemisch Nickel-Elektrolyten) durch Reduktion von Nickelionen mit Hilfe von Natriumhypophosphit ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ ). Dieses wird dabei zu Natriumorthophosphit ( $\text{NaH}_2\text{PO}_3$ ) umgesetzt, das sich über die gesamte Standzeit

des Elektrolyten auf Größenordnungen von bis zu 100 g Phosphor pro Liter anreichert. Weder bei der üblichen chemisch-physikalischen Behandlung der verbrauchten Elektrolytlösung, noch bei der anschließenden Weiterbehandlung der Abwässer in der kommunalen Kläranlage erfolgt mit den derzeit eingesetzten Verfahren eine Elimination des Orthophosphits. Dadurch erfolgt letztendlich ein Eintrag der gesamten Phosphorfracht in die öffentlichen Gewässer, mit der bekannten Folge der Eutrophierung.

### **Rechtliche Grundlagen**

Grundsätzlich fällt die Behandlung von Chemisch Nickel-Abwasser unter die Vorschriften des WHG (Wasserhaushaltsgesetz).

Anhang 40 der Rahmen- Abwasser VwV fordert die Abwasserbehandlung / P-Entfernung nach allgemein anerkannten Regeln der Technik. Phosphit ist mit üblicher Phosphatfällung nicht aus dem Abwasser entfernbar und wird daher von dieser Regelung nicht direkt erfasst.

Die Grenzwerte für den jeweiligen Betrieb werden von der zuständigen lokalen Wasserbehörde festgelegt.

Die gesetzlichen Grundlagen dafür sind:

- Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer  
Abwasserabgabengesetz - AbwAG
- Wassergesetz für Baden-Württemberg

## 2 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens ist deshalb ein Verfahren zur ökologisch und ökonomisch vertretbaren Entfernung von Orthophosphit aus verbrauchten außenstromlosen Nickelelektrolyten. Die anlagentechnische Umsetzung dieses Verfahrens soll konzipiert werden.

Das Vorhaben wird in Zusammenarbeit mit einer mittelständischen Lohngalvanik (Fa. Rieger Metallveredlung, Steinheim am Albuch) durchgeführt, die sowohl als Anwender wie auch als Entsorger außenstromloser Nickelelektrolyte von dieser Problematik unmittelbar betroffen ist. Als Entsorgungsweg für chemisch Nickel steht für Fa. Rieger derzeit nur die Verbrennung mit anschließender Lagerung der Rückstände unter Tage zu Verfügung, d.h. ein ökologisch unbefriedigendes Verfahren, das zudem die stoffliche Verwertung von Nickelanteils im Altelektrolyten nicht erlaubt.

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Folgende Vorgehensweise wurde gewählt:

Grundsätzlich soll Orthophosphit zunächst zu Orthophosphat oxidiert und anschließend durch die bei der chemisch-physikalischen Behandlung übliche Zugabe von Kalkmilch als Calciumphosphat gefällt und aus dem Abwasser abfiltriert werden.

Dazu sind geeignete Oxidationsmethoden zu entwickeln und in einen technisch und wirtschaftlich realisierbaren Prozess zu überführen. Aus wirtschaftlichen Gründen wird dabei eine einstufige Behandlung angestrebt.

Alle beschriebenen Untersuchungen werden durch eine chemische Analyse der Prozesslösungen in Bezug auf deren Hypophosphit-, Orthophosphit- und Phosphatgehalt ergänzt .

Im Einzelnen wurden folgende Arbeitspunkte durchgeführt:

#### • AP 1 Vorversuche

Untersuchung der prinzipiellen Oxidierbarkeit von Orthophosphit mit verschiedenen Oxidationsmitteln;

A. Zunächst Versuche an Modelllösungen: beginnend bei reinen wässrigen Lösungen von Orthophosphit sukzessiver Aufbau einer Chemisch Nickel-Matrix; dadurch frühzeitig Erkenntnisse über Störeinflüsse der Matrix

B. Prüfung folgender Oxidationsverfahren:

- chemische Oxidationsverfahren (bevorzugt mit Wasserstoffperoxid oder Ozon),
- Oxidation mit UV-Licht,
- elektrochemische Oxidation,
- Kombinationen aus den o.g. Verfahren

C. Prüfung folgender Separationsmethode:

- Fällung.

D. Untersuchung der Oxidationsbedingungen für Orthophosphit / für organische Komponenten der Matrix, damit grundsätzliche Erkenntnisse über die Chemie des Vorgangs.

Ergebnis von AP1: Erkenntnisse über prinzipielle Ansätze zur Oxidation und Separationsmöglichkeiten von Orthophosphit als Einzelsubstanz / in der Matrix.

#### • AP 2: Übertragung der Ergebnisse auf reale Chemisch Nickel-Elektrolyte im Labormaßstab

Durchführung von Laborversuchen (Becherglasmaßstab) mit realen außenstromlosen Nickelelektrolyten (sowohl Neuansätze mit Orthophosphit-

Dotierung als auch verbrauchte orthophosphithaltige Elektrolyte). Verifizierung obiger Ergebnisse am realen System;  
Ergebnis von AP 2: Erkenntnis über das Verhalten der überprüften Oxidationsmethoden in realer Matrix, grundlegende Hinweise über Störeinflüsse der realen Matrix

• **AP 3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen**

Überschlägige Berechnung der Verfahrenskosten der verschiedenen technisch realisierbar erscheinenden Verfahrensvarianten  
Ergebnis von AP 3: Grundlage für Technologieentscheidung

**AP 4: Verfahrensauswahl**

Ergebnis von AP 4: Auswahl des technisch und wirtschaftlich vielversprechendsten Verfahrens

**AP 5: Untersuchungen der Wirkmechanismen**

Untersuchungen zu den zugrunde liegenden Reaktionen (theoretische Ansätze, Verifizierung in Laborversuchen); Ableitung möglicher Störungen oder Beschleunigung der Reaktion; Untersuchungen zum Einfluss von bekannten Inhaltsstoffen und Nebenprodukten, die typischerweise in außenstromlosen Nischelektrolyten auftreten, auf die Oxidation von Orthophosphit; Laborversuche sowohl an Modelllösungen als auch an realen Elektrolyten

Ergebnis von AP 5: Verständnis der zugrunde liegenden chemischen Prozesse; Grundlage für eine wissensbasierte, wissenschaftlich abgesicherte Führung der Reaktionen; Ableitung möglicher Maßnahmen bei auftretenden Störfaktoren;

**AP 6: Verfahrensoptimierung**

Überprüfung und Anpassung der Reaktionsbedingungen an verschiedene marktübliche Elektrolytsysteme  
(Laborversuche an realen Elektrolyten, Becherglas)

Ergebnis von AP 6: Erkenntnisse über erforderliche Behandlungsschritte

**AP 7: Machbarkeitsnachweis im Technikumsmaßstab**

Exemplarisches Übertragen der Reaktionsbedingungen in den Technikumsmaßstab (Maßstab 5-30 L).  
Ergebnis von AP 7: Machbarkeitsnachweis, Erkenntnisse zur Anlagenkonzeption

**AP 8: Grundsätzliche Anlagenkonzipierung**

Ergebnis von AP 8: Konzept für eine Anlage im Produktionsmaßstab

## 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Chemisch Nickel-Technologie selbst (Prozesse, Schichteigenschaften, Bildung von Nebenprodukten) ist relativ gut erforscht. Die Entsorgungsproblematik des Nebenprodukts Orthophosphit ist bisher nicht konsequent angegangen worden, da die damit verbundene Umweltproblematik vernachlässigt wurde. Inzwischen sind jedoch praktisch alle Betreiber chemischer Vernickelungsanlagen mit diesem Problem konfrontiert.

Folgende Verfahrensweisen werden derzeit praktiziert, die jedoch alle mehr oder weniger nur eine Problemverlagerung bewirken:

- Abgabe der erschöpften Prozesslösung an einen externen Entsorger (lokale Problemverlagerung, aufgrund der verschärften Grenzwertproblematik immer weniger praktikabel).
- Zwischenspeicherung der Lösung in geeigneten Behältern und langsame Zudosierung zu den restlichen (phosphorfreien) Abwasserteilströmen, so dass der Überwachungswert an der Einleitestelle insgesamt eingehalten wird (zeitliche Problemverlagerung).
- Verbrennung bzw. Eindampfung der Lösung zu einem festen Rückstand, der unter Tage deponiert werden muss (Problemverlagerung in den Energie- und Abfallbereich).

Keine dieser Lösungen ist ökologisch zufriedenstellend.

Versuche unter Praxisbedingungen bei der Fa. Rieger führten zu der Erkenntnis, dass sich das in den erschöpften Prozesslösungen enthaltene Orthophosphit auch mit relativ starken Oxidationsmitteln wie Ozon unter Standardbedingungen nicht innerhalb einer vertretbaren Zeit zu Phosphat oxidieren lässt. Hier bestand jedoch keine Möglichkeit zu einer systematischen Untersuchung der Problematik.

Die in diesem Vorhaben verfolgte Strategie, Orthophosphit mit geeigneten Oxidationsverfahren in eine für die nachfolgende Fällungsstufe zugängliche Form (Phosphat) zu überführen, wurde noch nicht systematisch verfolgt.

### **Technische Ansatzpunkte für die Arbeiten**

Technische Verfahren zur kontinuierlichen Entfernung von Phosphit aus dem laufenden Prozess durch Elektrodialyse /1/ vermögen das Problem nur zeitlich zu entzerren. Phosphit fällt hier in Form von wässrigen Eluaten an, die wiederum entsorgt werden müssen.

Verfahren zum Einsatz der Elektrolyse bzw. der anodischen Oxidation zur Wasser- und Abwasseraufbereitung sind prinzipiell bekannt und werden als vielversprechend für die spezifische Problemstellung eingestuft /2, 3, 5,/.

Verfahren zum Einsatz chemischer Oxidationsmittel sind in der Oberflächentechnik zur Elektrolytpflege Stand der Technik.

Verfahren zur Wasseraufbereitung mittels Wasserstoffperoxid / UV sind in der Wasseraufbereitung sowie in der Behandlung von Elektrolyten zur Zerstörung von organischen Komplexbildnern Stand der Technik /4,6,7/. Die Entfernung von Phosphit wird in der Fachliteratur nicht diskutiert. Ziel der Behandlung von chemisch Nickel - Altelektrolyten ist in der Regel ausschließlich die Metallfällung /8/.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde gemeinsam mit ABAG-itm GmbH, Fellbach (im Unterauftrag) bearbeitet.

Das Projekt wurde Zusammenarbeit mit einer mittelständischen Lohngalvanik (Fa. Rieger Metallveredlung, Steinheim) durchgeführt, die sowohl als Anwender wie auch als Entsorger außenstromloser Nickelelektrolyte von dieser Problematik unmittelbar betroffen ist

## 6 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms des Zuwendungsgebers

Im Projekt wurde eine technische Lösung für ein umwelttechnisches Problem der Produktionstechnik erarbeitet. Die Ergebnisse des Projekts tragen dazu bei, den Eintrag von relevanter Phosphorfrachten in die Umwelt zu vermeiden. Die Arbeiten sind somit direkt am Leitziel des Projektträgers orientiert: "Nachhaltige Entwicklung am Standort Baden-Württemberg durch Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen" (Zitat Förderprogramm).

Das Projektergebnis trägt dazu bei, wissenschaftlich fundierte Grundlagen für umweltpolitische Entscheidungen bereitzustellen, in diesem Fall für die Bewertung und Behandlung der Phosphitfracht aus der Oberflächenbehandlung.

## 7 Ergebnisse

Die technischen Ergebnisse des Vorhabens werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

### 7.1 Analytik

Zur Bestimmung von o-Phosphit und Phosphat in Chem. Nickel-Matrix wurde ein Ionenchromatografische Methode erstellt.

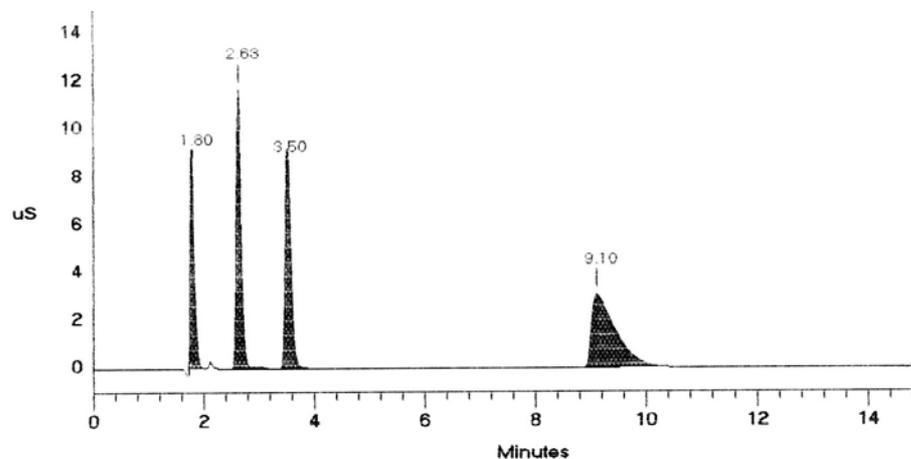
Abbildung 1 zeigt als Beispiel ein Chromatogramm des externen Standards der hier interessanten Ionen.

Abbildung 1

Ionen-  
chromatogramm:

Standard

- Hypophosphit  
(5 mg/L)  
(1,8 min)
- o-Phosphit  
(10 mg/L)  
(2,6 min)
- Sulfat  
(5 mg/L)  
(3,5 min)
- o-Phosphat  
(20 mg/L)  
(9,1 min)



Die Ionenchromatografische Bestimmung von o-Phosphit, Sulfat und o-Phosphat in Chem. Nickel-Matrix ist möglich. Die Bestimmung organischer Komplexbildner wird ebenfalls ionenchromatografisch durchgeführt. Die Bestimmung von Hypophosphit wird mittels iodometrischer Titration durchgeführt.

### 7.2 Fällung

Untersucht wurden Eisen (2), Eisen (3), und Calcium als Fällungsmittel. Im Ergebnis kann mit Eisen gefällt werden, die Lösungen sind jedoch wegen der

Bildung voluminöser Niederschläge nicht handhabbar. Durch den Eintrag der jeweiligen Anionen findet eine Aufsalzung der Lösungen statt.

### 7.3 Einsatz von Oxidationsmitteln

Oxidationsmittel	Ergebnisse	Bemerkungen
Natriumperoxydisulfat (NaPS)	Oxidation von Phosphit zu Phosphat ist in der Elektrolytmatrix möglich, aber Aufsalzung des Elektrolyten mit Sulfat	Untersuchung der Oxidationsbedingungen: pH, Matrixeinflüsse; teilweise Verbrauch von NaPS durch Oxidation von Komplexbildnern; pH-abhängige, exotherme Reaktion;
Kaliumpermanganat	Oxidation von Phosphit ist möglich	Eintrag von Mangan in Abwasser
Wasserstoffperoxid	nur geringer Wirkungsgrad	
UV/ Wasserstoffperoxid	Vorversuche (Labor-UV-Strahler, Oberflächenbestrahlung, starke Turbulenz): Kein signifikanter Abbau von Phosphit in wässrigen Modelllösungen  Labor-UV-Anlage (vgl. Abb. 3): Versuche zum Abbau im sauren Bereich wurden an einem Modellelektrolyt (Neuansatz des Herstellers AHC, mit 50 g/L Phosphit aufgestockt) durchgeführt: Ergebnis: nach 14 h Behandlung wurde bei pH = 9 eine Phosphitabnahme auf 40, 1 g/L erzielt, der Phosphatwert stieg dagegen von 4 g/L auf 32,1 g/L.	Dieses Ergebnis wird so interpretiert, dass im sauren Bereich ein Phosphitabbau teilweise erreicht wird, dass aber im Gleichgewicht Phosphit aus Hypophosphit nachgeliefert wird.  Bei Einsatz Ozon-behandelter Lösungen wurde ein günstigerer Wirkungsgrad erwartet als bei Behandlung von Elektrolyt mit H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / UV alleine. (Kontamination des Strahlers durch Anlagerung von Abbauprodukten)
Ozon	It. Hersteller deutschlandweit keine Versuchsanlage verfügbar; Untersuchungen deshalb nur in Abwasserbehandlung Fa. Rieger möglich (Chargengröße 1,5 m <sup>3</sup> , in einer Probe nach 12,5 h Behandlungszeit wurde kein Abbau von Phosphit / keine Bildung von Phosphat nachgewiesen	pH- Abhängigkeit der Behandlungsergebnisses wird vermutet, aber Versuche zur Bestätigung konnten unter den Bedingungen nicht durchgeführt werden

## 7.4 Elektrolyse

Ergebnisse: Die Oxidation von Phosphit zu Phosphat ist in der Originalmatrix ohne pH-Einstellung, also ohne den Einsatz zusätzlicher Chemikalien möglich; gleichzeitig erfolgt ein teilweiser Abbau der Komplexbildner. Das Verfahren wird als vielversprechend eingestuft. Vorbereitend für den Aufbau einer Pilotanlage wurde die Abhängigkeit von Anodenmaterial, pH-Wert, anodischer Stromdichte und Elektrodenabständen untersucht und die Elektrolysebedingungen optimiert.

Die erforderliche Elektrolysespannung und damit auch der Anteil der Nebenreaktion "Wasserzersetzung" sind sehr stark von den Prozessparametern abhängig. Wesentlichen Einfluss auf das Elektrolyseergebnis haben Anodenmaterial und Stromdichte sowie Flächenverhältnis und Abstand zwischen Anode und Katode. Die Elektrolyse ist beim Original-pH-Wert der Lösung durchführbar, das Verhältnis der Zersetzung von organischen Komplexbildnern zur Oxidation von Phosphit ist jedoch abhängig von pH-Wert und eingesetzten Komplexbildnern. Zusätzlich ist die Anströmung im System, d.h. der Transport der Reaktanden an die Elektrodenoberfläche und der Abtransport der Reaktionsprodukte, ein wesentlicher Prozessparameter.

In Abhängigkeit von den Elektrolysebedingungen wird die Ausfällung von Nickel bzw. Nickelhydroxid beobachtet, teilweise die katodische Abscheidung von Nickel. Anhand der Ergebnisse im Labormaßstab wurde eine Elektrolyseanlage für den Labor – und Technikumsmaßstab konzipiert (Abb. 2) und im 30 L-Maßstab in wesentlichen Komponenten realisiert.

Mit dem Elektrolyseverfahren wurden konnten "reale" Altelektrolyte (Fa. Rieger / andere Lohnbeschichter bzw. Elektrolythersteller) mit Erfolg behandelt werden. Die Art der organischen Komplexbildner ist demnach für die Oxidation von Phosphit nicht ausschlaggebend.

Die relevanten Einzelergebnisse der Versuche zur Elektrolyse sind im Anhang (12.1) dargestellt.

## 7.5 Kombinationsverfahren

Verfahrens-kombination	Ergebnisse	Bemerkungen
Ozon / Wasserstoffperoxid / UV (vgl. Abb. 3)	Bei der Behandlung von ozonbehandeltem Altelektrolyt (Probe Rieger) wurde in einem Fall ein Abbau von Phosphit von 35 auf 5 g/L erreicht. Die	Unter den Versuchsbedingungen konnten somit bei Kombination von Ozon- und UV-Behandlung keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielt werden. Als Erklärung wurde eine

	<p>Abbaugeschwindigkeit weist bei pH 5 und pH 9 keine signifikanten Unterschiede auf</p> <p>Bei der Wiederholung der Versuche wurde bei pH = 5 und pH = 9 allerdings kein signifikanter Phosphitabbau erhalten (12 h Behandlung).</p>	<p>Belegung der Oberfläche des UV-Strahlers mit Abbau- bzw. Zersetzungsprodukten angenommen</p>
Ozon / Elektrolyse	<p>Untersuchung der ozonbehandelten Rieger-Probe (pH 9, mit und ohne vorgeschaltete Filtration): Phosphit-Phosphor wird durch Elektrolyse von 9 auf 0,5 g/L reduziert.</p>	

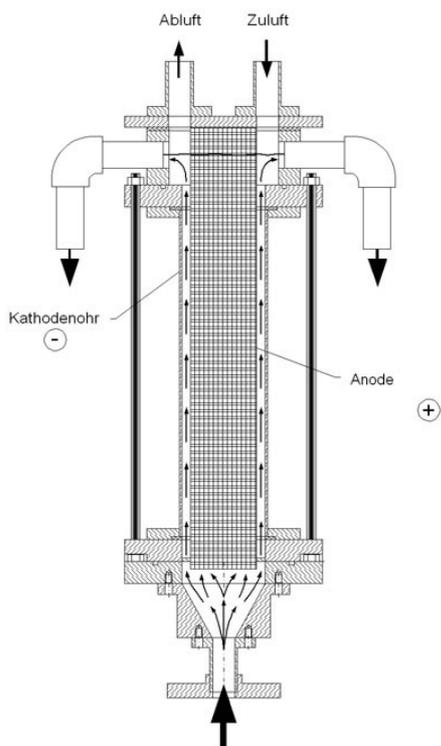


Abb. 2:  
Konzept Prototyp für Elektrolyseverfahren  
(Labor- oder technischer Maßstab)  
(Konzept / Zeichnung E. Wiedemann)



Abb. 3:  
Laboranlage zur Abwasserbehandlung mit  
UV/Wasserstoffperoxid

## 7.6 Fazit

Unter den untersuchten Verfahren zur Oxidation von Orthophosphit wird die Elektrolyse als technisch am geeignetsten eingestuft. Der Einsatz von Natriumpersulfat als Alternative ist zwar technisch möglich, wegen der Aufsalzung des betreffenden Abwassers jedoch für eine mögliche Umsetzung nicht relevant. Mit UV/Wasserstoffperoxid wurden keine reproduzierbaren Ergebnisse erhalten, möglicherweise aufgrund der verwendeten Anlagentechnik

# 8 Diskussion der Ergebnisse

## 8.1 Möglichkeiten zur Einbindung der Elektrolyse in die bestehende Abwasserbehandlung

Abb. 4 zeigt den derzeitigen Ablauf der Abwasserbehandlung bei Fa. Rieger. Grundsätzlich kann der Oxidationsschritt an beliebiger Stelle vor der Phosphatfällung durchgeführt werden, sinnvoll jedoch statt der Ozonbehandlung. Bei Fa. Rieger wird durch Zugabe der restlichen betrieblichen Abwässer ein Mischabwasser erzeugt. Der erzeugte Schlamm enthält sowohl Metallsulfide als auch Phosphat / Sulfat und wird gemeinsam über die Verhüttung verwertet; Endprodukte: Nickel als Wertstoff, Schlacke (Verwendung in der Bauindustrie).

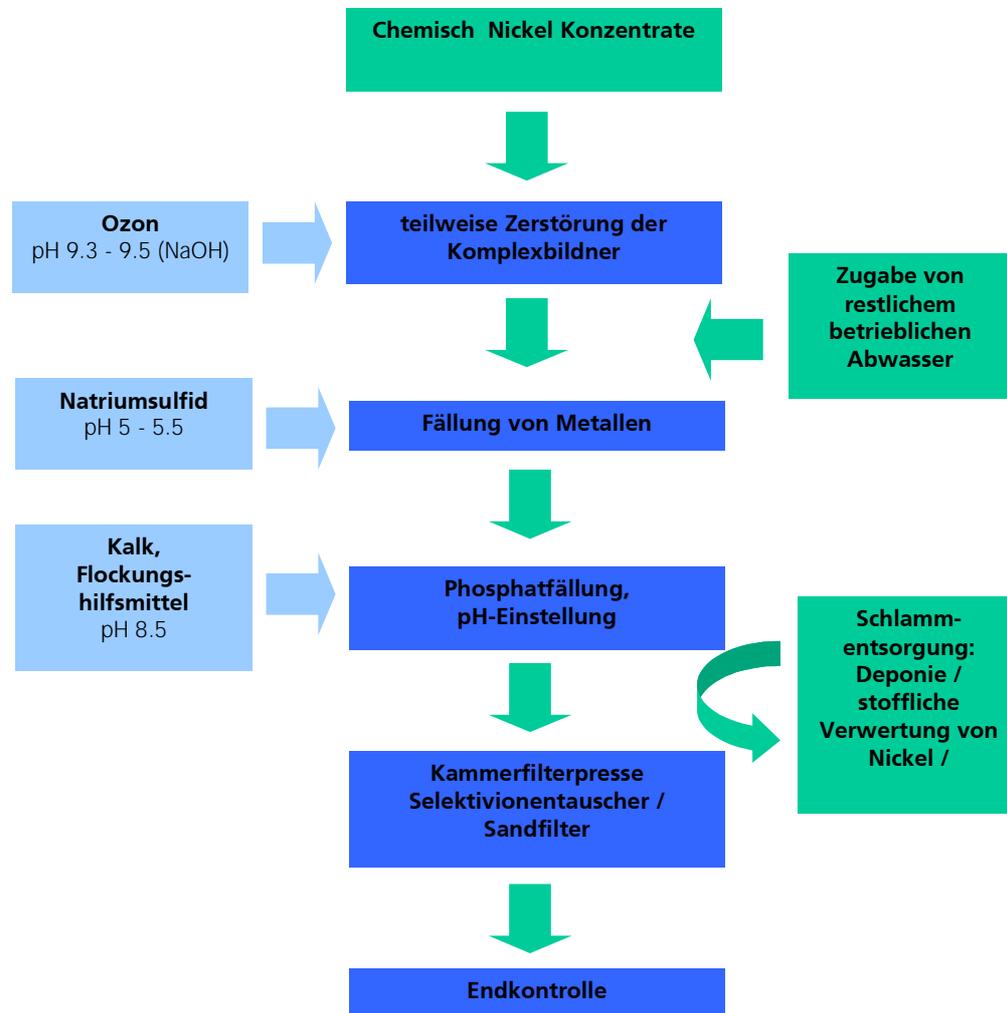


Abb. 4: Abwasserbehandlung bei Fa. Rieger

Grundsätzlich ist eine gezielte Verwertung des gebildeten Calcium-Sulfat-Phosphat-Schlammes möglich (Rückführung in die Phosphorindustrie, Düngemittel, Gipsfabrik). Entsprechende Verwerter konnten aber im Rahmen des Projekts nicht gefunden werden. Alternativ wäre die Entsorgung des Schlammes über eine Hausmülldeponie möglich. Beide Varianten setzen die quantitative Entfernung der Schwermetalle vor der Phosphat-Fällungsstufe voraus. Die ist technisch problemlos realisierbar, erfordert jedoch als Investition eine zweite Kammerfilterpresse.

## 8.2 Vergleichende Betrachtung der untersuchten Verfahren aus wirtschaftlicher Sicht

Die im Anhang (12.2) aufgeführten Tabellen geben eine Orientierung über die wirtschaftliche Bewertung der Verfahren nach dem endgültigen Projektstand. Die

Zahlenwerte beruhen überwiegend auf Schätzwerten sowie über Hochrechnungen ermittelten Werten und erheben daher keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit. Größenordnungsmäßig lassen sich aber hiermit die verschiedenen Behandlungsverfahren beurteilen. Personalkosten sind im Vorfeld nur schwer zu quantifizieren und wurden in die Berechnungen nicht einbezogen. Sie wurden lediglich als qualitative Einschätzungen aufgeführt.

### 8.2.1 Ausgangslage

Derzeit werden von der Fa. Rieger jährlich etwa 150 m<sup>3</sup> des verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten an ein Entsorgungsunternehmen abgegeben. Die Elektrolytlösung wird verbrannt, wobei schätzungsweise 60 t fester Rückstand entstehen, der schließlich über eine Untertagedeponie (UTD) entsorgt wird. 90 t Wasser werden demnach unter atmosphärischen Bedingungen verdampft, d.h. mit einem hohem Energieaufwand von ca. 1 kWh/L. Für das Galvanikunternehmen entstehen hierbei jährliche Entsorgungskosten von ca. 60.000 €. Diese Summe dient als Maßstab für die wirtschaftliche Beurteilung der im Folgenden dargestellten Verfahren sowie als Bezugsgröße bei der Berechnung der Amortisationszeiten.

Für die beispielhaften Elektrolytlösungen wurden von Nickelgehalten von 7 g/L, Phosphorgehalten von 50 - 100 g/L und Sulfatgehalten von 30 - 100 g/L als Berechnungsgrundlage ausgegangen (siehe Tabellen 1A bis 4 B im Anhang).

### 8.2.2 Chemisch-physikalische Behandlung

Bei einer chem.-phys. Behandlung (CPB) der jährlich anfallenden Elektrolytmenge mit Natriumperoxodisulfat (NaPS) (zur Oxidation von o-Phosphit zu Phosphat), mit Natriumsulfid (zur Nickelfällung) und mit Kalkmilch (zur Phosphat-/ Sulfatfällung) entstehen je nach Phosphat- und Sulfatgehalt (s. o.) 340 - 705 t/a Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlämme mit 70% Restfeuchte, die aufgrund der Schadstoffgehalte auf einer Sonderabfalldeponie (SAD) entsorgt werden müssten (siehe Tabelle 2 A und 4 A). Unter Annahme der angegebenen Voraussetzungen, stellt dieser Verfahrensweg mit Betriebskosten bis zu 217.000 €/a die kostenmäßig ungünstigste Variante dar. Eine anschließende Trocknung der Schlämme reduziert die zu entsorgende Schlammmenge auf schätzungsweise 140 - 300 t/a, mit 30% Restfeuchte. Die Kostenersparnis läge zwischen 30.000 und 70.000 €/a, womit die Anschaffungskosten eines Trockners mit 60.000 € sich innerhalb von ein bis zwei Jahren amortisiert hätten. Aufgrund der hohen Aufwendungen für Einsatzchemikalien und resultierenden hohen Abfallmengen bleibt das Verfahren dennoch unwirtschaftlich.

Werden aufgrund des Ni-Gehaltes die Schlämme einer stofflichen Verwertung in einer Ni-Hütte zugeführt (siehe Tabelle 1A und 3 A), können sich die Entsorgungskosten für den Galvanikbetrieb im angenommenen Vergleich um 10

bis 22% reduzieren. Jeweils in Abhängigkeit vom Nickelgehalt der Schlämme wird eine Vergütung auf die Entsorgungskosten angerechnet. Nach Aussage der Nickelhütte stören Phosphat und Sulfat den Verwertungsprozess nicht. Die bei der Verhüttung anfallende Schlacke findet in der Bauindustrie Verwendung. Um eine Vermischung mit anderen nicht nickelhaltigen Galvanikschlämmen zu vermeiden, müsste die Fa. Rieger jedoch eine zusätzliche CPB-Linie mit einer zweiten Kammerfilterpresse einrichten. Bei keiner der rein chem.-phys. Verfahrenskombinationen wird jedoch gegenüber dem derzeitigen Entsorgungsweg und -kosten eine Amortisation aufgewiesen.

### 8.2.3 Elektrolyse

Soll die Oxidation von o-Phosphit zu Phosphat nicht chemisch über die Reaktion mit NaPS erfolgen, kann dieser Behandlungsschritt auch auf elektrolytischem Wege durchgeführt werden. Hierbei wurden in Vorversuchen die wirtschaftlicheren Ergebnisse bei geringeren Stromstärken und längerer Behandlungsdauer erzielt. Eine chem.-phys. Behandlung mit Kalkmilch (zur Phosphat-/ Sulfatfällung) sowie mit Natriumsulfid (zur Nickelfällung) ist der Elektrolyse nachgeschaltet. Je nach Phosphat- und Sulfatgehalt (s. o.) entstehen bei der chem.-phys. Behandlung mit Kalkmilch und Natriumsulfid nach den im Labormaßstab ermittelten Ergebnissen ca. 140 - 300 t/a Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlämme mit 70% Restfeuchte, die auf einer SAD entsorgt werden müssten (siehe Tabelle 2 B und 4 B). Unter Annahme der angegebenen Voraussetzungen, stellt dieser Verfahrensweg mit Betriebskosten bis zu 126.000 €/a immer noch eine kostenmäßig ungünstige Variante dar. Eine anschließende Trocknung der Schlämme reduziert die zu entsorgende Schlammmenge auf schätzungsweise 60 -130 t/a, mit 30% Restfeuchte. Die Kostenersparnis läge zwischen 11.000 und 28.000 €/a, womit sich die zusätzlichen Anschaffungskosten eines Trockners mit 60.000 € erst innerhalb von zwei bis sechs Jahren oder länger amortisiert hätten.

Auch hier ließen sich aufgrund des Nickelgehaltes die Schlämme einer stofflichen Verwertung in einer Ni-Hütte zuführen (siehe Tabelle 1B und 3 B), womit sich die Entsorgungskosten für den Galvanikbetrieb im angenommenen Vergleich nochmals um 10 bis 20% reduzieren würden.

Bei geringerer Schlammmenge (z. B. durch geringere Phosphat- und Sulfatgehalte des Elektrolyten) kann bei der Anlagenkombination mit Elektrolyse rein rechnerisch eine Amortisationszeit von etwa 3,3 Jahren erzielt werden. Im Gegenzug rechnet sich die Anschaffung eines Trockners aufgrund der geringeren Schlammmenge in diesem Falle nicht, sondern hätte eine Verlängerung der Amortisationszeit auf bis zu 7 Jahre zur Folge (siehe Tabelle 3 B).

## 8.2.4 Vakuumverdampfung

Aus 150 m<sup>3</sup>/a Elektrolytlösung entstehen bei der Verdampfung (siehe Tabelle 1B - 4 B) schätzungsweise 85 t/a flüssige bzw. pastöse Rückstände, die aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit in einer UTD entsorgt werden müssten oder aber aufgrund des Nickelgehaltes ggf. der stofflichen Verwertung in einer Ni-Hütte zugeführt werden könnten. 65 t Wasser werden hierbei mit einem erheblich geringeren Energieaufwand (0,1 kWh/L) als bei der eingangs erwähnten Verbrennung verdampft und ggf. in die Betriebsprozesse zurückgeführt. Die Amortisationszeit für den Verdampfer (30 L/h) liegt gegenüber der derzeitigen Entsorgung des unbehandelten Elektrolyten innerhalb eines Jahres. Jedoch ist verfahrensbedingt ein Mitreißen von o-Phosphit ins Destillat zu befürchten, womit die eigentliche Phosphatproblematik im Abwasser der Fa. Rieger nicht gelöst wäre.

## 8.2.5 Trocknung

Aus 150 m<sup>3</sup>/a Elektrolytlösung entstehen bei der Trocknung (Kaltdestillation bei 30°C) (siehe Tabelle 1B - 4 B) schätzungsweise 85 t/a flüssige bzw. pastöse Rückstände, die aufgrund der Wasserlöslichkeit in einer UTD entsorgt werden müssten oder ggf. aufgrund des Nickelgehaltes der stofflichen Verwertung in einer Ni-Hütte zugeführt werden könnten. 65 t Wasser werden hierbei mit einem erheblich geringeren Energieaufwand (0,3 kWh/L) als bei der eingangs erwähnten Verbrennung verdampft und ggf. in die Betriebsprozesse zurückgeführt. Die Amortisationszeit für den Trockner (30 L/h) liegt gegenüber der derzeitigen Entsorgung des unbehandelten Elektrolyten bei unter 2 Jahren.

Verfahrensbedingt ist bei einem Trockner aufgrund der geringeren Temperaturen und des geringeren Vakuums ein Mitreißen von o-Phosphit ins Destillat lt. Aussage des Anlagenbauers weit weniger zu befürchten als bei einem Verdampfungsprozess. Würde sich diese Aussage in der Praxis bestätigen, wäre die Phosphatproblematik im Abwasser der Fa. Rieger zumindest aus wirtschaftlicher Sicht gelöst.

## 8.2.6 Orientierende wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Verfahren

In Anhang 12.2 ist orientierend die wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Verfahren zusammengefasst. Die Zahlenwerte beruhen teilweise auf Schätzwerten und erheben daher keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit. Für die Berechnung wurden nur Sachkosten berücksichtigt.

In den Tabelle wird unterschieden zwischen der Entsorgung unter Tage, auf einer Hausmülldeponie sowie der teilweisen Verwertung und Entsorgung über die

Verhüttung des metallhaltigen Schlammes. Entsprechend fallen unterschiedliche Kosten an.

Insgesamt lässt sich die Aussage treffen, dass eine Behandlung des Phosphits unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen (Rechtslage, Deponiekosten) nur dann wirtschaftlich durchführbar ist, wenn eine kostenneutrale Verwertung des anfallenden Schlammes gefunden wird. Die Alternative der Volumenreduktion des Abfallelektrolyten durch Eindampfen oder Verbrennung und anschließende Lagerung unter Tage ist kostenmäßig deutlich günstiger, wenn auch unter ökologischen Aspekten unbefriedigend.

### **8.2.7 Voraussetzungen für die jeweiligen Verwertungs- und Entsorgungswege**

Die folgende Tabelle stellt zusammenfassend die ca.-Kosten und technischen Voraussetzungen für die jeweiligen Entsorgungs- bzw. Verwertungswege für die bei der Behandlung anfallenden metall- bzw. phosphathaltigen Schlämme dar.

<b>Entsorgungs- und Verwertungswege</b>		
	<b>Bedingungen</b>	<b>angenommene Kosten</b>
stoffliche Verwertung als Gips	Trocknung, schwermetallfrei	Verhandlungssache
stoffliche Verwertung (Nickelhütte) (Nickel, Schlacke als Baustoff)	Verhandlungssache (derzeit Schlamm)	abhängig von Nickelgehalt, ca. 100 - 200 €/t
Unter Tage Deponie (UTD)	trockene Abfälle	ca 275 € / t
Sonderabfalldeponie	stichfest, wasserunlöslich	ca. 200 € / t
Sonderabfallverbrennung + UTD	Verhandlungssache (derzeit flüssig)	ca. 400 € / t
Hausmülldeponie	wasserunlöslich, stichfest, schwermetallfrei	(„ungern + teuer“)

### 8.2.8 Fazit

Insgesamt lässt sich die Aussage treffen, dass eine Behandlung des Phosphits unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen (Rechtslage, Deponiekosten) dann wirtschaftlich durchführbar ist, wenn eine kostenneutrale Verwertung des

anfallenden Schlammes gefunden wird. Die Alternative der Volumenreduktion des Abfallelektrolyten durch Eindampfen oder Verbrennung und anschließende Lagerung unter Tage (UTD) stellt sich kostenmäßig deutlich günstiger dar, wenn auch unter ökologischen Aspekten unbefriedigend, falls sich keine Verwertungsmöglichkeit der Eindampf- bzw. Trocknerrückstände ergeben würde.

## 9 Voraussichtlicher Nutzen, praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen

Im Forschungsvorhabens wurde ein technisch umsetzbares Verfahren zur Entfernung von Orthophosphat aus verbrauchten außenstromlosen Nickelelektrolyten entwickelt und die anlagentechnische Umsetzung dieses Verfahrens konzipiert.

Die praktische Verwendung des Verfahrens ist eng gekoppelt mit den ökonomischen Rahmenbedingungen - wenn keine kostenneutrale Verwertung des erzeugten Calciumphosphat-Sulfat-Schlammes gefunden wird, ist das Verfahren derzeit ökonomisch nicht konkurrenzfähig. Bei Änderung der Entsorgungskosten oder der behördlichen Auflagen für die Produktionsbetriebe -bzw. bei Ausfall aktuell praktizierter Entsorgungswege- muss die Kostenbetrachtung jedoch neu angestellt werden.

Im Projekt wurde eine Basis für die Bewertung möglicher Verwertungs- bzw. Entsorgungsverfahren geschaffen, so dass bei Änderung der Rahmenbedingungen -z.B. gesetzliche Vorgaben oder Deponiekosten- eine eventuelle Neubewertung der Verfahren mit geringem Aufwand erfolgen kann. Für die Wahl geeigneter Verwertungs- bzw. Entsorgungswege wurden Entscheidungsgrundlagen für die Betriebe erarbeitet. Wesentliche Kriterien sind dabei die tatsächlichen Phosphorgehalte der Altelektrolyte, die Annahmebedingungen geeigneter Entsorgungsstellen und -daraus resultierend- die erforderlichen Behandlungsschritte der Altelektrolyte.

## 10 Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen, die während der Durchführung des Vorhabens erreicht wurden

In einer neueren Arbeit /9/ wird über Fortschritte bei der Behandlung mit Wasserstoffperoxid / UV berichtet und ein entsprechendes Gerät vorgestellt: Durch eine spezielle Geometrie und Verfahrensführung soll die Verschmutzung des UV-Moduls verhindert und gleichzeitig durch turbulente Strömung ein guter Stoffübergang auch in trüben Lösungen erreicht werden. Die Möglichkeit zum Abbau von Phosphit wird in der Arbeit zwar angesprochen, aber nicht quantifiziert oder mit Daten hinterlegt.

## 11 Veröffentlichung der Ergebnisse

Leonhard, Wera; Göpfert, Bernhard: Elimination von Phosphor aus Produktionsabwässern der Oberflächentechnik : Zwischenbericht, Förderkennzeichen BWC 20007.

In: Horsch, Frank (Projektleiter); Kernforschungszentrum Karlsruhe / Projektträgerschaft Technik und Umwelt:

Statusseminar der Baden-Württemberg-Projektträgerschaft "Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung" (BWPLUS) 2002, Getr. Z.

Derzeit geplante Veröffentlichungen:

Fachzeitschrift Galvanotechnik unter dem Arbeitstitel "Chemisch Nickel - Was tun mit Phosphit ?";

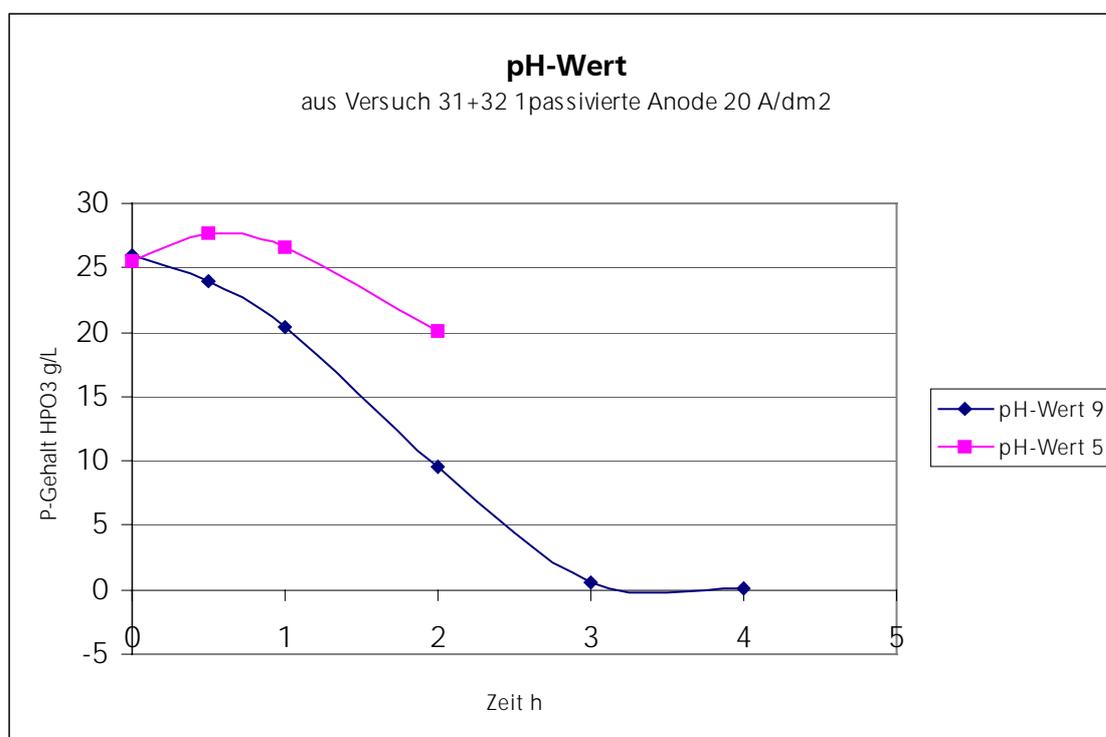
Kundenzeitschriften IPA und ABAG

geplant: Diskussion der Ergebnisse im Fachausschuss Chemische Metallisierungsverfahren der Deutschen Gesellschaft für Oberflächentechnik

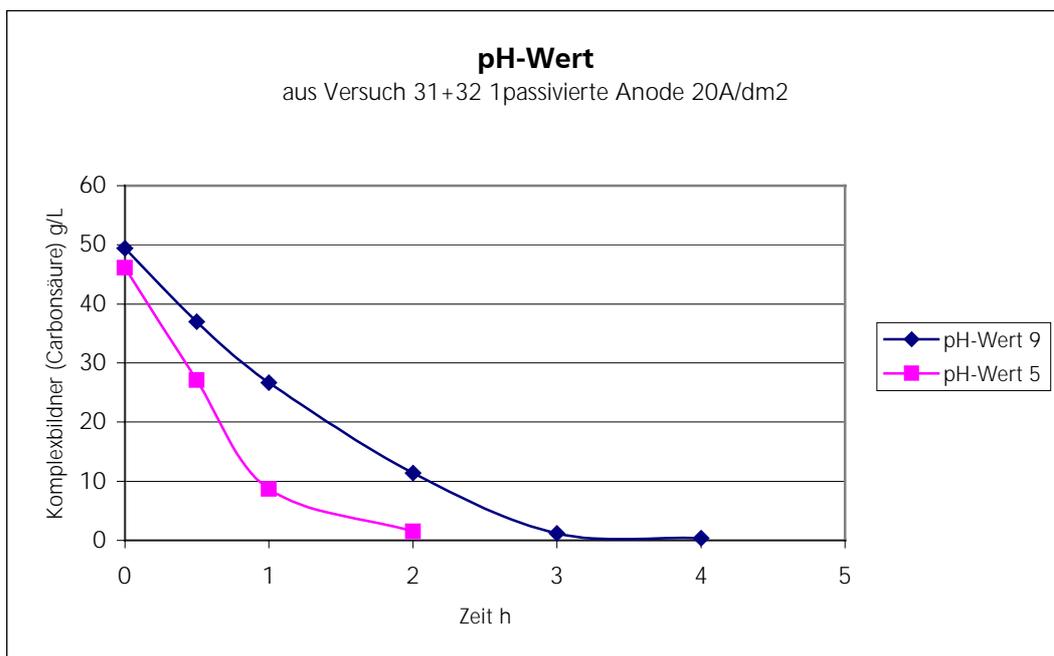
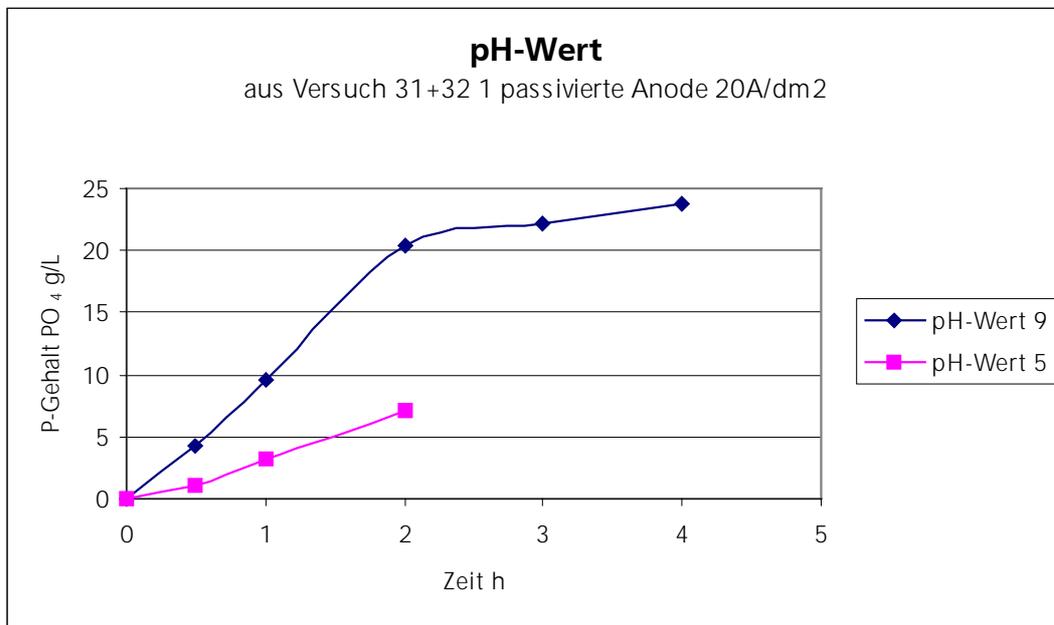
## 12 Anhang

### 12.1 Einzelergebnisse der Elektrolyseversuche

#### 12.1.1 pH-Wert

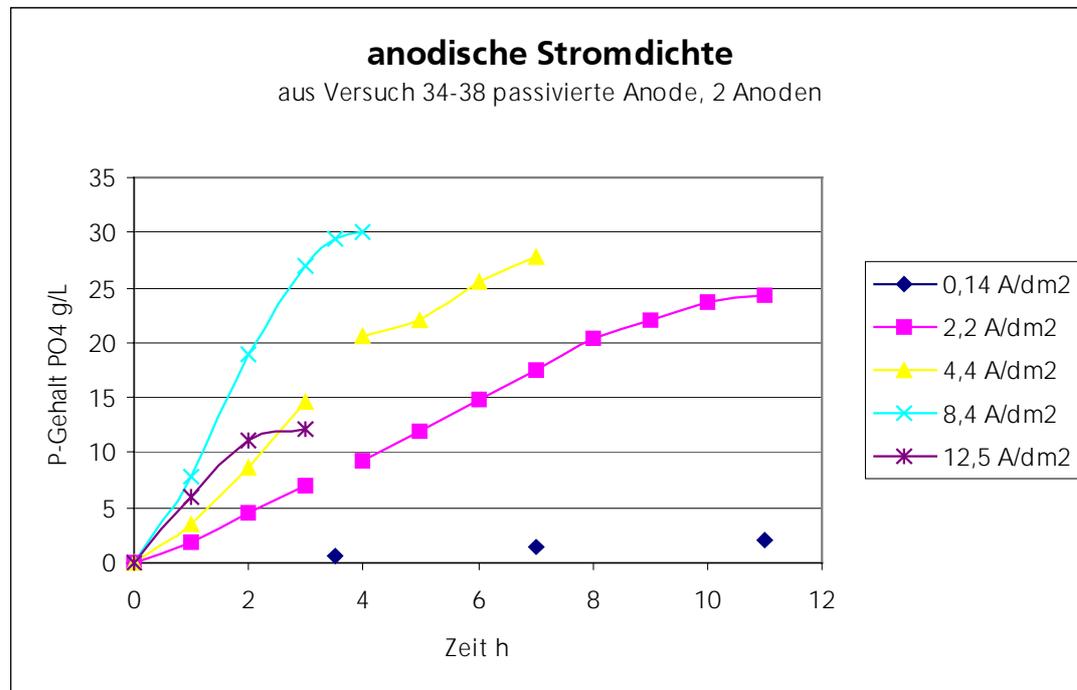
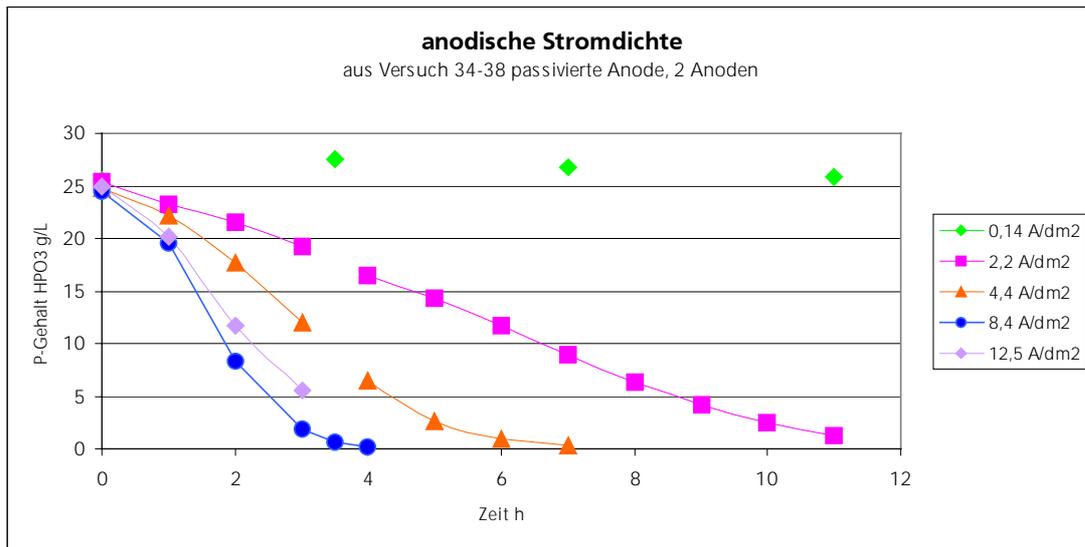


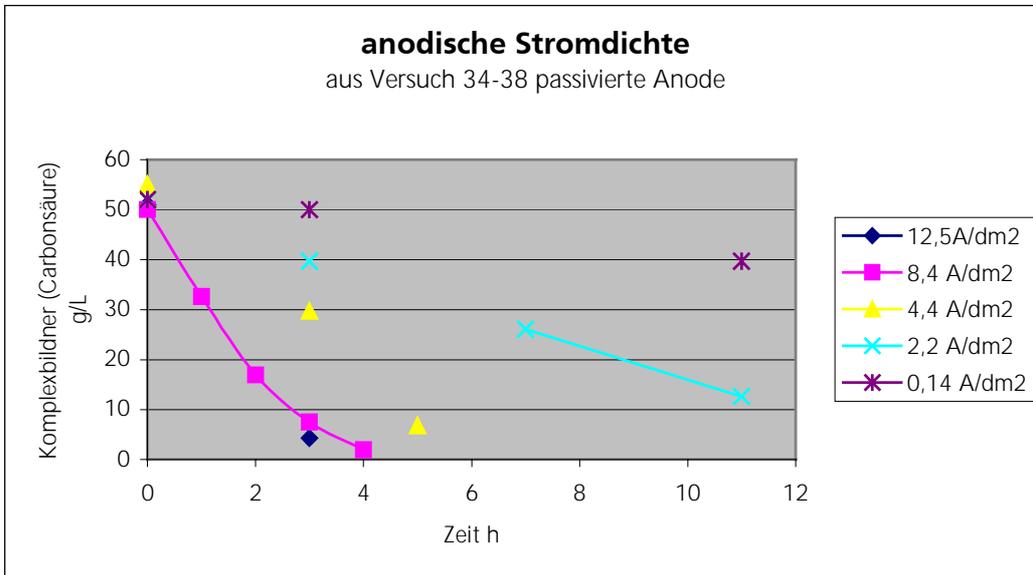
Anmerkung: Der zunächst beobachtete Anstieg des Phosphitgehalts ist auf die Oxidation von Hypophosphit zurückzuführen, das in chemisch-Nickel-Verfahren zur Reduktion von Nickel eingesetzt wird.



Ergebnis: Unter den Versuchsbedingungen ist die Umsetzung von Phosphit zu Phosphat im kommerziellem Altelektrolyten bei pH =9 günstiger als bei pH=5. Am günstigsten ist jedoch die Vorgehensweise, den Elektrolyten (Arbeitspunkt ca pH=4 - 5) ohne Einstellung des pH-Werts zu behandeln. Hier wird durch die pH-Verschiebung bei der Elektrolyse ein pH-Wert von ca 8-9 erreicht.

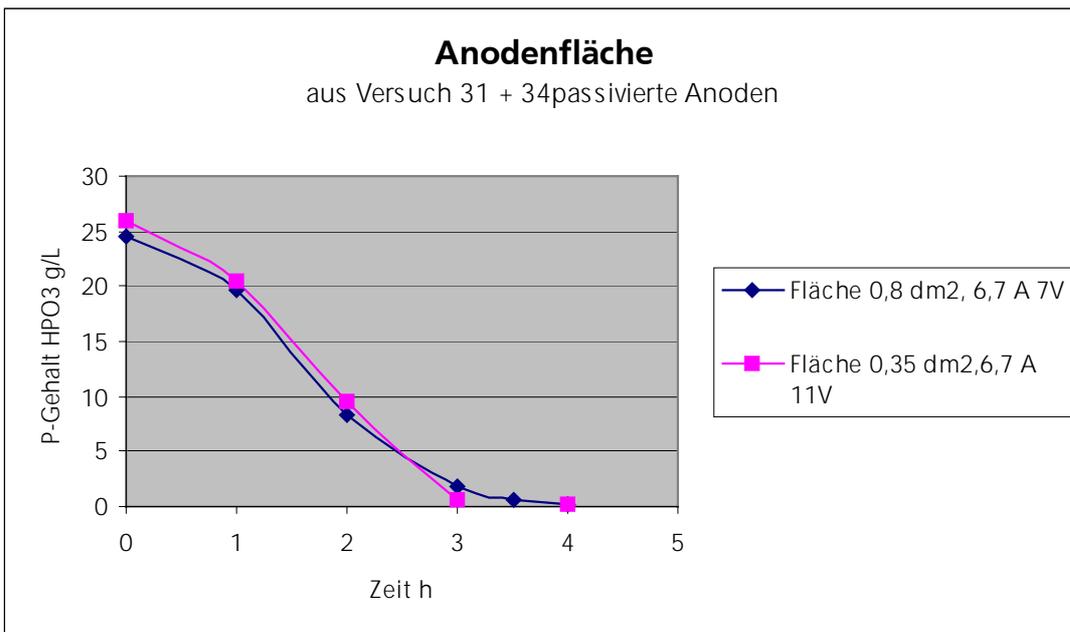
## 12.1.2 anodische Stromdichte

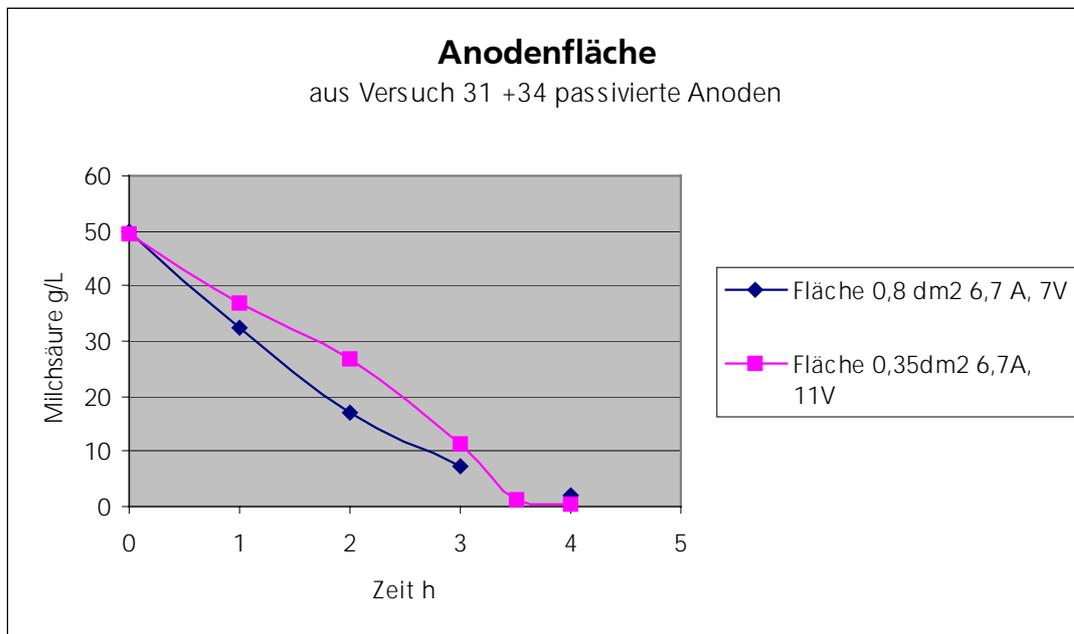
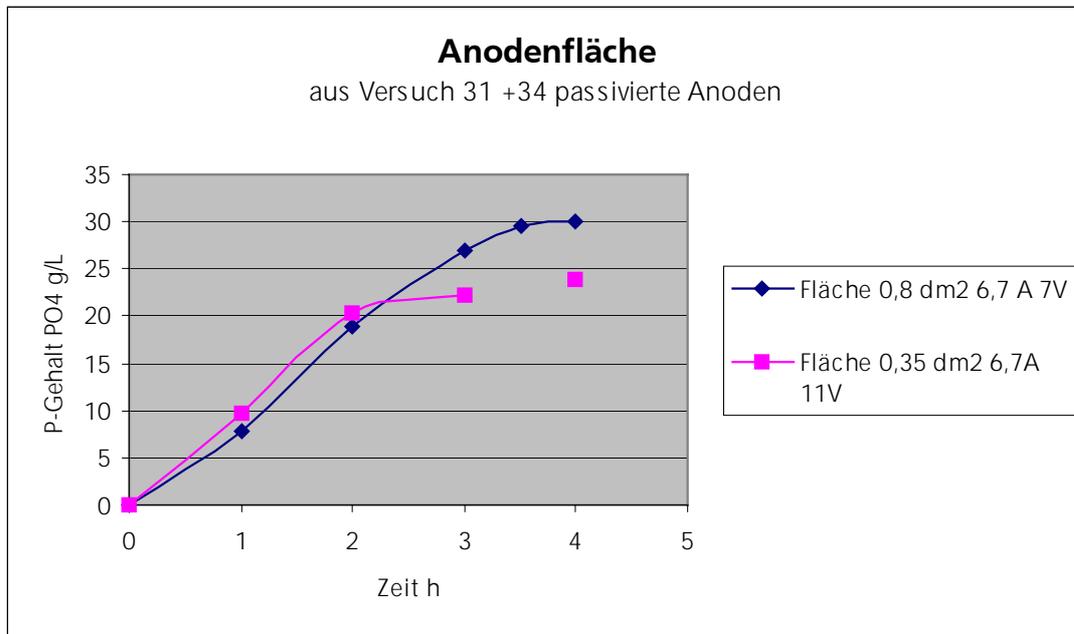




Ergebnis: Bei anodischen Stromdichten von ca. 8 A/dm<sup>2</sup> wird unter den Versuchsbedingungen im kommerziellen Altelektrolyten eine optimale Umsetzung von Phosphit erreicht. Unter den Versuchsbedingungen wird die Lösung dabei jedoch >90°C erhitzt. Bei 4,4 A/dm<sup>2</sup> werden ca. 45°C erreicht. Ein Versuch mit 6 A/dm<sup>2</sup> wurde nachträglich durchgeführt, hier lagen die Temperaturen bei ca. 70 °C.

### 12.1.3 Anodenfläche

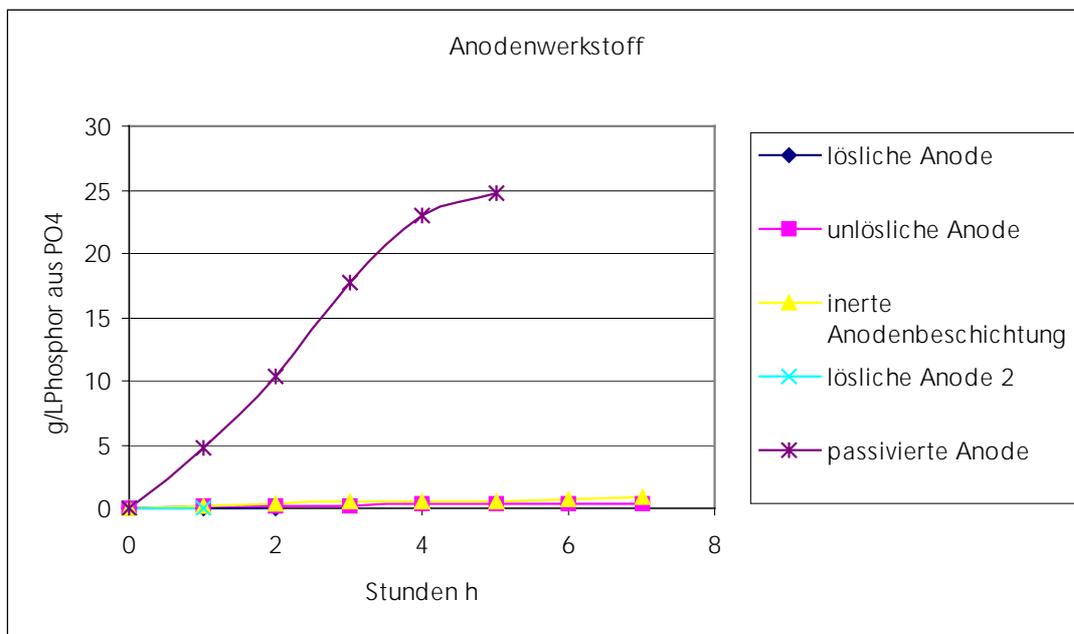
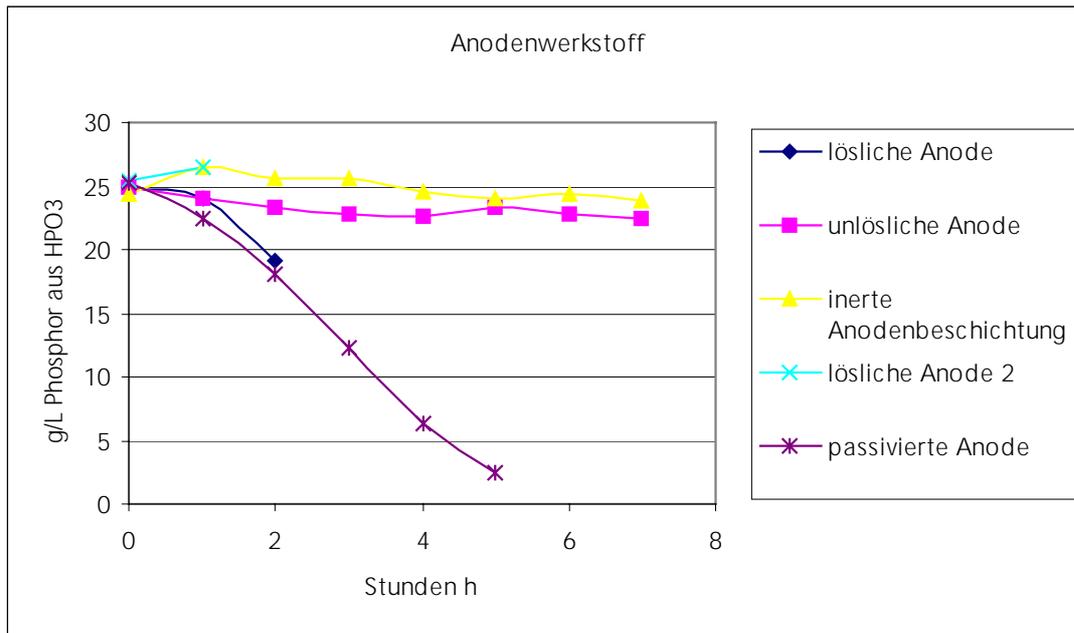




Ergebnis: Unter den Versuchsbedingungen ist im kommerziellen Altelektrolyten bei gleicher Stromstärke die Anodenfläche nicht relevant für die Umsetzung von Phosphit. Da bei Vergrößerung der Anodenfläche, also kleinerer Stromdichte, aber die notwendige Klemmenspannung und damit die benötigte elektrische Leistung sinkt, ist eine möglichst große

Anodenoberfläche günstig.

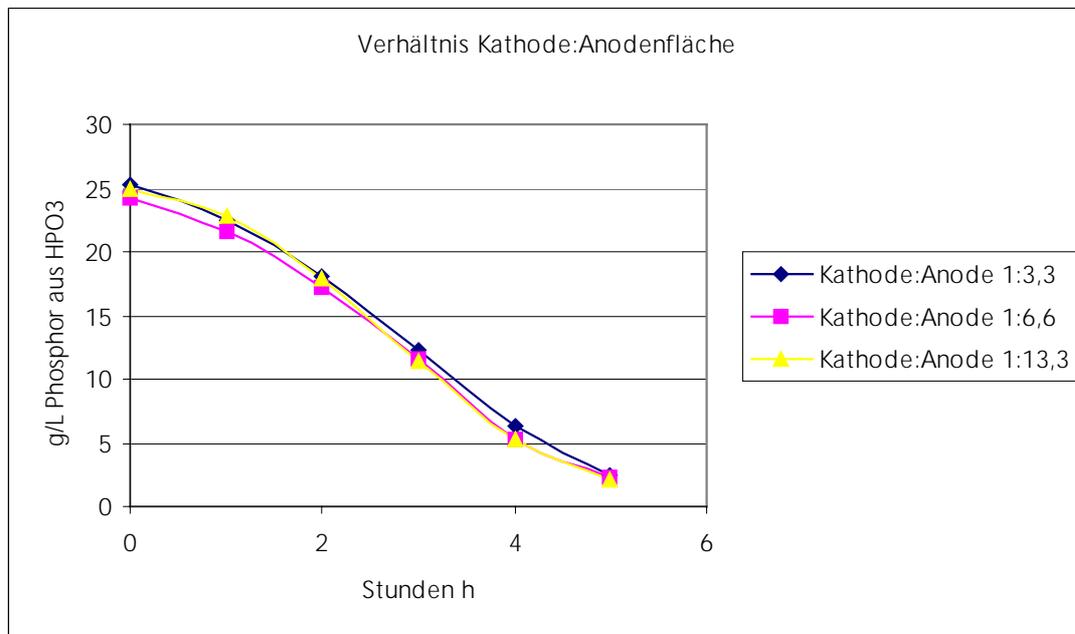
### 12.1.4 Anodenwerkstoff

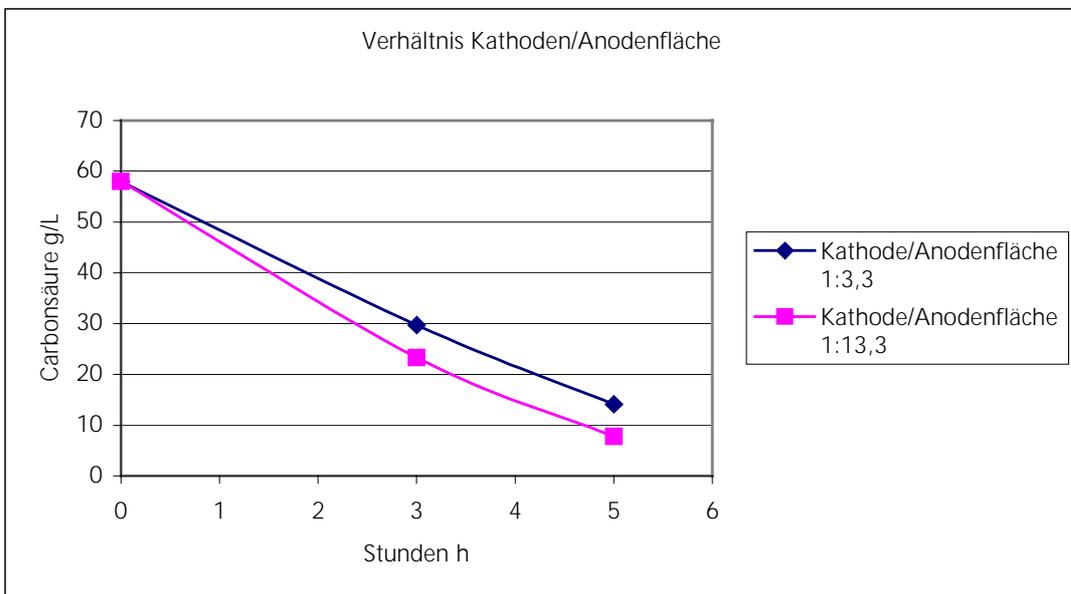
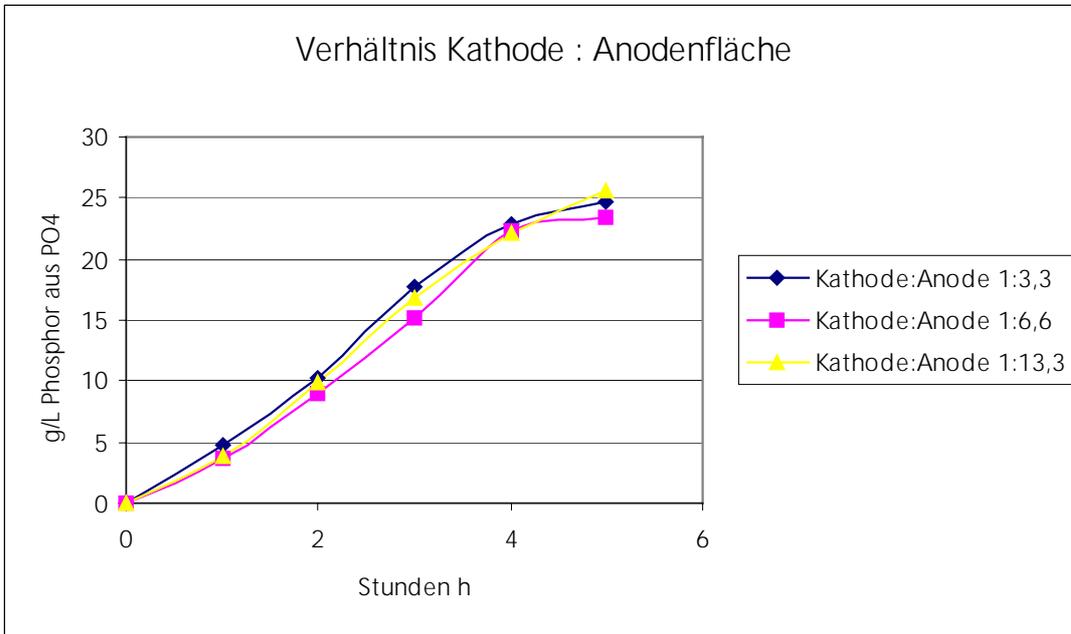


Ergebnis: Nur mit passivierten Anoden wird unter den Versuchsbedingungen im kommerziellen

Altelektrolyten eine optimale Umsetzung von Phosphit erreicht. Zusätzlich wurden Edelmetallanoden überprüft, ebenfalls mit geringerem Wirkungsgrad. Dieses Ergebnis wird dahingehend interpretiert, dass die Überspannung der Nebenprodukte Sauerstoff bzw. Wasserstoff an den Elektroden eine wesentliche Rolle für die Ausbeute der Phosphitoxidation wesentlich beeinflusst. Zusätzlich können Katalysatoreffekte der Oberfläche eine Rolle spielen.

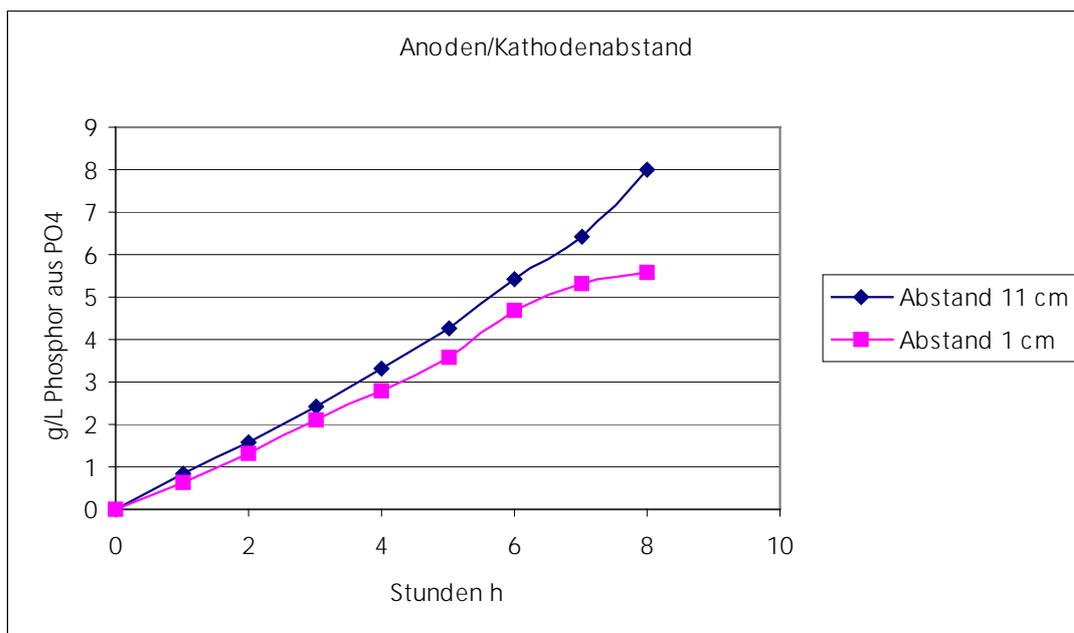
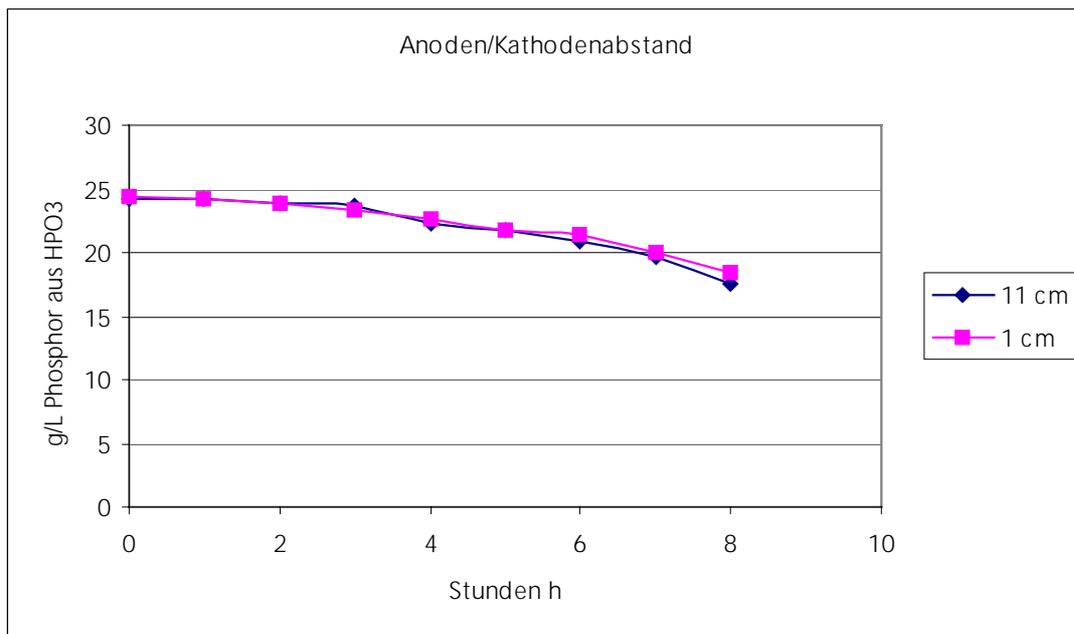
### 12.1.5 Verhältnis Katoden- zu Anodenfläche (passivierte Anode)

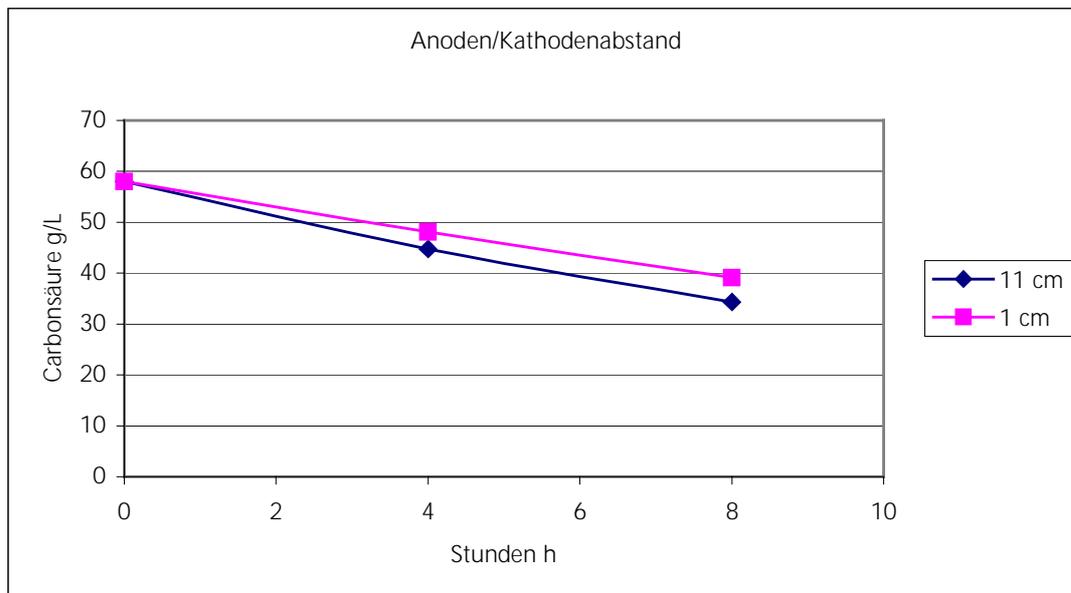




Ergebnis: Unter den Versuchsbedingungen kein signifikanter Einfluss der Katodenfläche

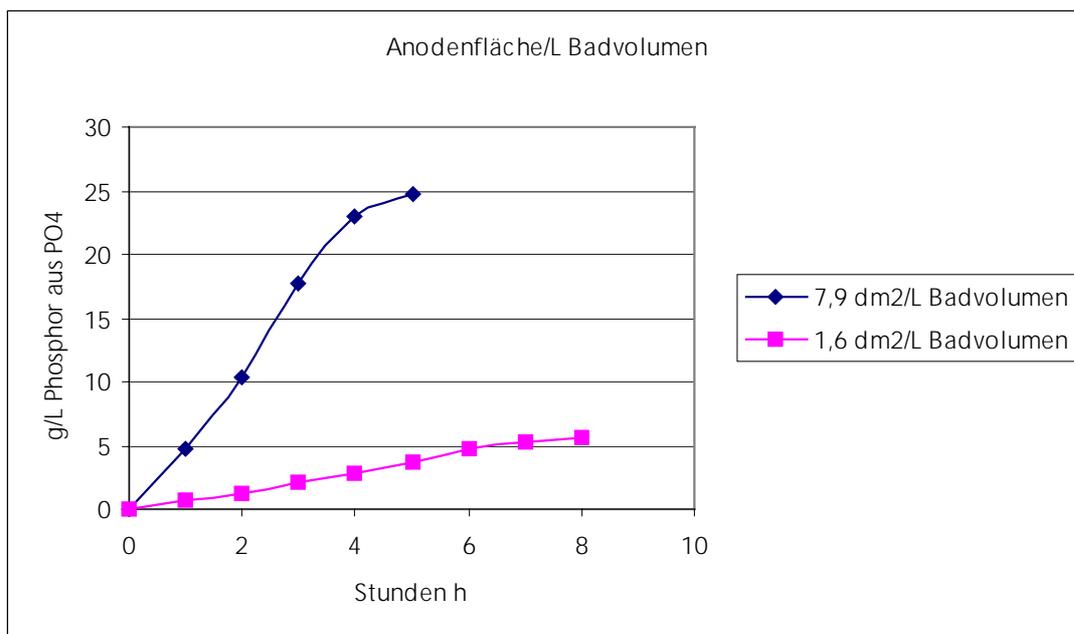
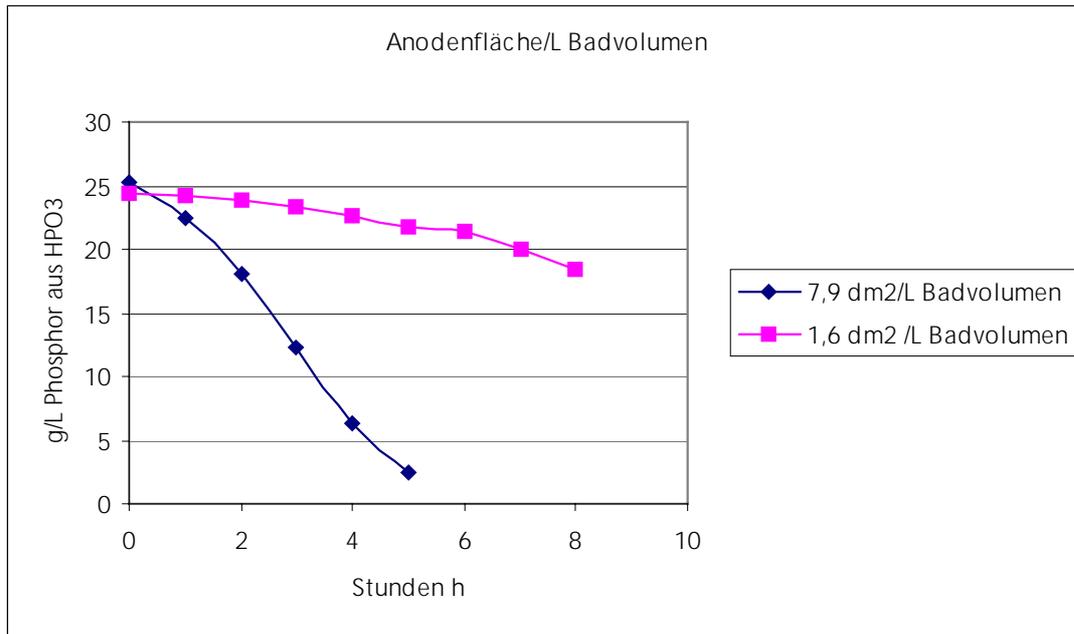
### 12.1.6 Abstand Anode / Katode





Ergebnis: Unter den Versuchsbedingungen kein signifikanter Einfluss des Anoden-Kathoden-Abstands. Hier ist zu beachten, dass der eingesetzte kommerzielle Elektrolyt aufgrund seines Gehalts an anorganischen Salzen sehr gut leitfähig ist. Weiter ist zu beachten, dass die absoluten Elektrodenabstände aufgrund der Abmessungen des Reaktionsgefäßes gering waren. Ein Anoden-Katoden-Abstand von 11 cm ist allerdings in der Praxis bereits realisierbar. Der relativ langsame Abbau ist in dieser Versuchsreihe auf eine nicht angepasste Anodenfläche zurückzuführen.

### 12.1.7 Verhältnis Anodenfläche / Badvolumen



Ergebnis: Bei gleicher Stromdichte steigt erwartungsgemäß mit steigender Anodenfläche der Umsatz an Phosphit.

### **12.1.8 Fazit**

Günstige Bedingungen für die Elektrolyse sind:  
Stromdichte bis 4 A/dm<sup>2</sup> (Temperatur, elektrische Leistung), Anodenfläche möglichst groß, passivierte Anoden; keine Einstellung des pH-Werts vor oder während der Elektrolyse; ausreichende Hydrodynamik, um Phosphit an die Anodenoberfläche nachzuliefern;

Die Elektrolysezeiten sind unter diesen Bedingungen abhängig von der Anodenfläche und dem Phosphitgehalt des Elektrolyten.

Unter diesen Bedingungen konnte mit kommerziellen Altelektrolyten eine Oxidation von Phosphit bis auf Werte < 0,1 g/L Phosphit-Phosphor erreicht werden.

Der Nickelgehalt wurde bei den Versuchen deutlich reduziert. In einem Fall wurde ein Rest-Nickel-Anteil von 10 mg/L gemessen. Nickel wird zum einen katodisch abgeschieden (als Überzug oder pulvrig), zum anderen nach Zerstörung der Komplexbildner im alkalischen pH-Bereich als Hydroxid ausgefällt.

## 12.2 Tabellen zur wirtschaftlichen Betrachtung

### 1 A Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Verwertung von 150 m<sup>3</sup>/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltsstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	100 g/l
Sulfat:	100 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 EURO gerundet)

	Entsorgung über SAV und UTD (derzeitiger Entsorgungsweg)	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS) und rohstoffliche Verwertung	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS), Trocknung und rohstoffliche Verwertung
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/ Sulfatfällung	---	Natriumperoxodisulfat: 115 t/a (Wirkmenge) 40.000 EURO/a (0,35 €/kg) Calciumhydroxid 90%ig: 126 t/a 31.500 EURO /a (0,25 EURO /kg)	Natriumperoxodisulfat: 115 t/a (Wirkmenge) 40.000 EURO /a (0,35 EURO /kg) Calciumhydroxid 90%ig: 126 t/a 31.500 EURO /a (0,25 EURO /kg)
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	---	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 EURO /a (0,7 EURO /kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 EURO /a (0,7 EURO /kg)
Ni-haltiger Galvanikschlamm Menge und Verwertungskosten	---	Ni-haltiger Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 70% Restfeuchte: 705 t/a 106.000 EURO /a (150 EURO /t)	Ni-haltiger Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 30% Restfeuchte: 302 t/a 45.500 EURO /a (150 EURO /t)
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	Chem.-Nickel-Elektrolyt: 150 t/a 60.000 EURO (400 EURO /t)	---	---
Energieverbrauch und -kosten	---	vernachlässigbar	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 121.000 kWh/a 10.000 EURO /a (0,08 EURO /kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungs- kosten/Jahr	---	1.500 EURO /a	4.000 EURO /a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	niedrig (Abgabe an den Entsorger)	hoch (chem.-phys. Behandlung)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung des Trockners)
Investitionskosten	---	25.000 EURO für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.	60.000 EURO Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich. 25.000 EURO für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.
<b>Betriebskosten/Jahr</b> <b>Amortisationszeit</b>	<b>60.000 EURO /a</b> <b>(Bezugsgröße zur Berechnung der</b> <b>Amortisationszeit)</b>	<b>183.000 EURO /a</b> <b>keine Amortisation</b>	<b>135.000 EURO /a</b> <b>keine Amortisation</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

ABAG

## 1 B Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Verwertung von 150 m<sup>3</sup>/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	100 g/l
Sulfat:	100 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Elektrolyse, chem.-phys. Behandlung und rohstoffliche Verwertung	Elektrolyse, chem.-phys. Behandlung, Trocknung und rohstoffliche Verwertung	Vakuumverdampfung mit Brüdenkompression und rohstoffliche Verwertung	Trockner (Kaltdestillation bei 30°C) und rohstoffliche Verwertung
Behandlungskemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	Calciumhydroxid 90%ig: 54 t/a 13.500 €/a (0,25 €/kg)	Calciumhydroxid 90%ig: 54 t/a 13.500 €/a (0,25 €/kg)	---	---
Behandlungskemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	---	---
Ni-haltiger Galvanikschlamm Menge und Verwertungskosten	Ni-haltiger Phosphat-/Sulfat-/Sulfidschlamm mit 70% Restfeuchte: 300 t/a 37.500 €/a (125 €/t)	Ni-haltiger Phosphat-/Sulfat-/Sulfidschlamm mit 30% Restfeuchte: 130 t/a 13.000 €/a (100 €/t)	Ni-haltiger Destillationsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 8.500 €/a (100 €/t)	Ni-haltiger Trocknungsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 8.500 €/a (100 €/t)
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	---	---	---	---
Energieverbrauch und -kosten	Für die Elektrolyse: 580.000 kWh/a 46.500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 51.000 kWh/a 4.000 €/a (0,08 €/kWh) Für die Elektrolyse: 580.000 kWh/a 46.500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Verdampfer: (0,1 kWh/L): 6.500 kWh/a 500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner: (0,3 kWh/L): 19.500 kWh/a 1.500 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungskosten/Jahr	2.500 €/a	5.000 €/a	2.000 €/a	2.500 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung der Elektrolyseanlage)	hoch (chem.-phys. Behandlung, Wartung der Verdampfer- sowie der Elektrolyseanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Verdampferanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Trockneranlage)
Investitionskosten	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V. 25.000 € für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V. 60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich. 25.000 € für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.	35.000 € Brüdenverdampfer mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.	60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>104.000 €/a</b>	<b>86.000 €/a</b>	<b>11.000 €/a</b>	<b>12.500 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	<b>keine Amortisation</b>	<b>keine Amortisation</b>	<b>0,7 a</b>	<b>1,3 a</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

ABAG

## 2 A Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Entsorgung von 150 m³/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	100 g/l
Sulfat:	100 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Entsorgung über SAV und UTD (derzeitiger Entsorgungsweg)	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS) und Entsorgung über SAD	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS), Trocknung und Entsorgung über SAD
Behandlungskemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	---	Natriumperoxodisulfat: 115 t/a (Wirkmenge) 40.000 €/a (0,35 €/kg)  Calciumhydroxid 90%ig: 126 t/a 31.500 €/a (0,25 €/kg)	Natriumperoxodisulfat: 115 t/a (Wirkmenge) 40.000 €/a (0,35 €/kg)  Calciumhydroxid 90%ig: 126 t/a 31.500 €/a (0,25 €/kg)
Behandlungskemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	---	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	Chem.-Nickel-Elektrolyt: 150 t/a 60.000 € (400 €/t)	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 70% Rest- feuchte: 705 t/a 141.000 €/a (200 €/t)	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 30% Rest- feuchte: 302 t/a 60.500 €/a (200 €/t)
Energieverbrauch und -kosten	---	vernachlässigbar	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 121.000 kWh/a 10.000 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungs- kosten/Jahr	---	500 €/a	3.000 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	niedrig (Abgabe an den Entsorger)	hoch (chem.-phys. Behandlung)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung des Trockners)
Investitionskosten	---	---	60.000 €
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>60.000 €/a</b>	<b>217.000 €/a</b>	<b>149.000 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	(Bezugsgröße zur Berechnung der Amortisationszeit)	<b>keine Amortisation</b>	<b>keine Amortisation</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

## 2 B Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Entsorgung von 150 m³/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	100 g/l
Sulfat:	100 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Elektrolyse mit anschließender chem.-phys. Behandl. und Entsorg. über SAD	Elektrolyse, chem.-phys. Behandlung, Trocknung und Entsorgung über SAD	Vakuumverdampfung mit Brüdenkompression und Entsorgung über UTD	Trockner (Kaltdestillation bei 30°C) und Entsorgung über UTD
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	Calciumhydroxid 90%ig: 54 t/a 13.500 €/a (0,25 €/kg)	Calciumhydroxid 90%ig: 54 t/a 13.500 €/a (0,25 €/kg)	---	---
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	---	---
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 70% Rest-feuchte: 300 t/a 60.000 €/a (200 €/t)	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 30% Rest-feuchte: 130 t/a 26.000 €/a (200 €/t)	Destillationsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 23.500 €/a (275 €/t)	Trocknungsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 23.500 €/a (275 €/t)
Energieverbrauch und -kosten	Für die Elektrolyse: 580.000 kWh/a 46.500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 51.000 kWh/a 4.000 €/a (0,08 €/kWh) Für die Elektrolyse: 580.000 kWh/a 46.500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Verdampfer: (0,1 kWh/L): 6.500 kWh/a 500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner: (0,3 kWh/L): 19.500 kWh/a 1.500 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungskosten/Jahr	1.500 €/a	4.000 €/a	2.000 €/a	2.500 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung der Elektrolyseanlage)	hoch (chem.-phys. Behandlung, Wartung der Verdampfer- sowie der Elektrolyseanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Verdampferanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Trockneranlage)
Investitionskosten	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V.	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V. 60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.	35.000 € Brüdenverdampfer mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.	60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>125.500 €/a</b>	<b>98.000 €/a</b>	<b>26.000 €/a</b>	<b>27.500 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	<b>keine Amortisation</b>	<b>keine Amortisation</b>	<b>1,0 a</b>	<b>1,9 a</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

### 3 A Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Verwertung von 150 m³/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	50 g/l
Sulfat:	30 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Entsorgung über SAV und UTD (derzeitiger Entsorgungsweg)	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS) und rohstoffliche Verwertung	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS), Trocknung und rohstoffliche Verwertung
Behandlungskemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	---	Natriumperoxodisulfat: 58 t/a (Wirkmenge) 20.000 €/a (0,35 €/kg) Calciumhydroxid 90%ig: 60 t/a 15.000 €/a (0,25 €/kg)	Natriumperoxodisulfat: 58 t/a (Wirkmenge) 20.000 €/a (0,35 €/kg) Calciumhydroxid 90%ig: 60 t/a 15.000 €/a (0,25 €/kg)
Behandlungskemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	---	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)
Ni-haltiger Galvanikschlamm Menge und Verwertungskosten	---	Ni-haltiger Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 70% Restfeuchte: 341 t/a 43.000 €/a (125 €/t)	Ni-haltiger Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 30% Restfeuchte: 144 t/a 18.000 €/a (125 €/t)
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	Chem.-Nickel-Elektrolyt: 150 t/a 60.000 € (400 €/t)	---	---
Energieverbrauch und -kosten	---	vernachlässigbar	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 58.000 kWh/a 5.000 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungs- kosten/Jahr	---	1.500 €/a	4.000 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	niedrig (Abgabe an den Entsorger)	hoch (chem.-phys. Behandlung)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung des Trockners)
Investitionskosten	---	25.000 € für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.	60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich. 25.000 € für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni- haltiger Schlämme erforderlich ist.
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>60.000 €/a</b>	<b>83.500 €/a</b>	<b>66.000 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	(Bezugsgröße zur Berechnung der Amortisationszeit)	<b>keine Amortisation</b>	<b>keine Amortisation</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

### 3 B Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Verwertung von 150 m³/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	50 g/l
Sulfat:	30 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Elektrolyse mit anschließender chem.-phys. Behandl. und roht. Verwertung	Elektrolyse, chem.-phys. Behandlung, Trocknung und rohstoffliche Verwertung	Vakuumverdampfung mit Brüdenkompression und rohstoffliche Verwertung	Trockner (Kaltdestillation bei 30°C) und rohstoffliche Verwertung
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	Calciumhydroxid 90%ig: 24 t/a 6.000 €/a (0,25 €/kg)	Calciumhydroxid 90%ig: 24 t/a 6.000 €/a (0,25 €/kg)	---	---
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	---	---
Ni-haltiger Galvanikschlamm Menge und Verwertungskosten	Ni-haltiger Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfid-schlamm mit 70% Restfeuchte: 138 t/a 14.000 €/a (100 €/t)	Ni-haltiger Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfid-schlamm mit 30% Restfeuchte: 59 t/a 6.000 €/a (100 €/t)	Ni-haltiger Destillationsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 8.500 €/a (100 €/t)	Ni-haltiger Trocknungsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 8.500 €/a (100 €/t)
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	---	---	---	---
Energieverbrauch und -kosten	Für die Elektrolyse: 290.000 kWh/a 23.000 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 24.000 kWh/a 2.000 €/a (0,08 €/kWh)  Für die Elektrolyse: 290.000 kWh/a 23.000 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Verdampfer (0,1 kWh/L): 6.500 kWh/a 500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 19.500 kWh/a 1.500 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungskosten/Jahr	2.500 €/a	5.000 €/a	2.000 €/a	2.500 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung der Elektrolyseanlage)	hoch (chem.-phys. Behandlung, Wartung der Verdampfer- sowie der Elektrolyseanl.)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Verdampferanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Trockneranlage)
Investitionskosten	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V.  25.000 € für zweite Kammerfilterpresse, die in der Regel für die chem.-phys. Behandlung im Falle der Verwertung Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V.  60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.  25.000 € für zweite Kammerfilterpresse, die i. d. R. f. d. chem.-phys. Behandlung im Falle d. Verwert. Ni-haltiger Schlämme erforderlich ist.	35.000 € Brüdenverdampfer mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.	60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>49.500 €/a</b>	<b>46.000 €/a</b>	<b>11.000 €/a</b>	<b>12.500 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	<b>3,3 a</b>	<b>6,8 a</b>	<b>0,7 a</b>	<b>1,3 a</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

ABAG

#### 4 A Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Entsorgung von 150 m³/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	50 g/l
Sulfat:	30 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Entsorgung über SAV und UTD (derzeitiger Entsorgungsweg)	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS) und Entsorgung über SAD	Chem.-phys. Behandlung mit Natriumperoxodisulfat (NaPS), Trocknung und Entsorgung über SAD
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	---	Natriumperoxodisulfat: 58 t/a (Wirkmenge) 20.000 €/a (0,35 €/kg)  Calciumhydroxid 90%ig: 60 t/a 15.000 €/a (0,25 €/kg)	Natriumperoxodisulfat: 58 t/a (Wirkmenge) 20.000 €/a (0,35 €/kg)  Calciumhydroxid 90%ig: 60 t/a 15.000 €/a (0,25 €/kg)
Behandlungschemikalien, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	---	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	Chem.-Nickel-Elektrolyt: 150 t/a 60.000 € (400 €/t)	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 70% Rest- feuchte: 341 t/a 68.000 €/a (200 €/t)	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 30% Rest- feuchte: 144 t/a 29.000 €/a (200 €/t)
Energieverbrauch und -kosten	---	vernachlässigbar	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 58.000 kWh/a 5.000 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungs- kosten/Jahr	---	500 €/a	3.000 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	niedrig (Abgabe an den Entsorger)	hoch (chem.-phys. Behandlung)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung des Trockners)
Investitionskosten	---	---	60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>60.000 €/a</b>	<b>107.500 €/a</b>	<b>76.000 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	(Bezugsgröße zur Berechnung der Amortisationszeit)	<b>keine Amortisation</b>	<b>keine Amortisation</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie



#### 4 B Kostenvergleich für eine mittelständische Galvanik bei der Behandlung und Entsorgung von 150 m<sup>3</sup>/a eines Chem.-Nickel-Elektrolyten:

Für die Vergleichsrechnung bei der Behandlung eines verbrauchten Chemisch-Nickel-Elektrolyten wurde von den folgenden Inhaltstoffen und Badkonzentrationen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um die Stoffe, die wesentlich die Schmutzfracht des Abwassers aus dem Chem.-Nickel-Prozess des untersuchten Betriebs bestimmen:

Nickel:	7 g/l
Phosphor:	50 g/l
Sulfat:	30 g/l

(Alle Zahlenangaben als ca.-Werte überschlagsmäßig errechnet; Finanzierungs- und Wartungskosten, sowie Invest- und Betriebskosten auf 500 bzw. 1.000 € gerundet)

	Elektrolyse, chem.-phys. Behandlung und Entsorgung über SAD	Elektrolyse, chem.-phys. Behandlung, Trocknung und Entsorgung über SAD	Vakuumverdampfung mit Brüdenkompression und Entsorgung über UTD	Trockner (Kaltdestillation bei 30°C) und Entsorgung über UTD
Behandlungsmittel, Einsatzmenge und -kosten für Phosphat-/Sulfatfällung	Calciumhydroxid 90%ig: 24 t/a 6.000 €/a (0,25 €/kg)	Calciumhydroxid 90%ig: 24 t/a 6.000 €/a (0,25 €/kg)	---	---
Behandlungsmittel, Einsatzmenge und -kosten für Ni-Fällung	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	Natriumsulfid 25%ig: 5,6 t/a 4.000 €/a (0,7 €/kg)	---	---
Abfallart, -menge und Entsorgungskosten	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 70% Restfeuchte: 138 t/a 28.000 €/a (200 €/t)	Phosphat-/ Sulfat-/ Sulfidschlamm mit 30% Restfeuchte: 59 t/a 12.000 €/a (200 €/t)	Destillationsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 23.500 €/a (275 €/t)	Trocknungsrückstand mit 30% Restfeuchte: 85 t/a 23.500 €/a (275 €/t)
Energieverbrauch und -kosten	Für die Elektrolyse: 290.000 kWh/a 23.000 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 24.000 kWh/a 2.000 €/a (0,08 €/kWh)  Für die Elektrolyse: 290.000 kWh/a 23.000 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Verdampfer (0,1 kWh/L): 6.500 kWh/a 500 €/a (0,08 €/kWh)	Für den Trockner (0,3 kWh/L): 19.500 kWh/a 1.500 €/a (0,08 €/kWh)
Finanzierungs- bzw. Wartungskosten/Jahr	1.500 €/a	4.000 €/a	2.000 €/a	2.500 €/a
Personalaufwand (quantitative Abschätzung schwierig, da stark von Betriebsstruktur abhängig)	hoch (chem.-phys. Behandlung, sowie Wartung der Elektrolyseanlage)	hoch (chem.-phys. Behandlung, Wartung der Verdampfer- sowie der Elektrolyseanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Verdampferanlage)	mittel (Konzentrataustrag automatisiert, Wartung der Trockneranlage)
Investitionskosten	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V.	10.000 € für Elektrolyseanlage mit einer Stromaufnahme von 2.000 A bei 10 - 12 V.  60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.	35.000 € Brüdenverdampfer mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.	60.000 € Trockner mit einer Durchsatzleistung von 30 L/h erforderlich.
<b>Betriebskosten/Jahr</b>	<b>62.500 €/a</b>	<b>51.000 €/a</b>	<b>26.000 €/a</b>	<b>27.500 €/a</b>
<b>Amortisationszeit</b>	<b>keine Amortisation</b>	<b>7,8 a</b>	<b>1,0 a</b>	<b>1,9 a</b>

SAD = Sonderabfalldeponie

SAV = Sonderabfallverbrennung

UTD = Untertagedeponie

## 12.3 Literatur

- /1/ R. Born, J. Heydecke, W. Richter: Elektrodialyse für Chemisch Nickel, metalloberfläche 54 (2000), 17
- /2/ Kraft, A., Stadelmann, M., Kirstein, W.: Einsatz von Diamantelektroden für die elektrolytische Wasserreinigung und -desinfektion durch anodische Oxidation, Galvanotechnik 91 (2000), 334
- /3/ Patent 3941813 DE C2 19920130: Verfahren zum elektrochemischen Abbau von chlorierten organischen Verbindungen und dessen Verwendung (Gemmler, A.; Bolch, T.; Mertz, K.)
- /4/ H-J. Greuning: Umweltfreundliche Abwasserbehandlung, metalloberfläche 51 (1997), 437
- /5/ I. Ohno, O. Wakabayashi, S. Haruyama: Anodic Oxidation of Reductants in Electroless Plating, J. electrochem. Soc. 132 (1985), 2323
- /6/ W. Körber: Zur Zerstörung und Beseitigung organischer Wasserinhaltsstoffe durch kurzwellige UV-Strahlung, Galvanotechnik 88 (1997), 2709
- /7/ H. Watanabe, H. Honma: Treatment of COD Bearing Electroless Plating Solution by UV Irradiation, Trans IMF, 77 (1999), 49
- /8/ F. Altmayer: Treating EN Waste, Plating and Surface Finishing, 03/1997, 38
- /9/ M. Sörensen, J. Weckenmann: Enviolet® moderne Entgiftung von Abwässern und Elektrolyten aus dem Bereich "chemisch Nickel", Galvanotechnik 4/2002, 1099