Aufarbeitung von Abfallsäuren

Autor(en): **Kühnlein, H.L.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 16

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85691

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

nierung der Anlagen auf das jeweilige schwermetallhaltige Abwasser genau abgestimmt werden.

Schluss

Elektrochemische Verfahren stellen für die Entsorgung von schwermetallhaltigen Abwässern sehr wirtschaftliche und zweckmässige Verfahrensalternativen dar.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahrens- und Zellenkonzept ist vorzugsweise für Eingangskonzentrationen von einigen kg Metall je m³ Abwasser einzusetzen, wobei Ablaufkonzentrationen bei noch annehmbaren Stromausbeuten von ca. 20 g Metall je m³ erreichbar sind. Für die Regeneration der Kathoden, also für die Entnahme des abgeschiedenen Metalls, treten keine eigentlichen Standzeiten während des Abscheidebetriebs der Anlage auf.

Literaturverzeichnis

[1] *Samhaber, W.:* Swiss Chem 4 (1982) Nr. 3a, S. 75/82
[2] *Robertson, P.M.; Scholder, B.; Theis, G., und Ibl, N.:* Chem. Ind. 13 (1978), S. 459/65
[3] *Williams, J.M., und Keating, K.B.:* Du Pont Innovation, 6 (1975); 3 S. 6/10
[4] *Keating, K.B., and Williams, J.M.:* Resour. Recovery Conserv.: 2(1976), S. 39/55
[5] *Bennion, D.N., und Newmann, J.:* J. Appl. Electrochem. 2 (1972), S. 113/22
[6] *Kreysa, G.:* Chem.-Ing.-Techn. 50 (1978), Nr. 5, S. 332/37
[7] *Fleet, B., und Gupta, S.D.:* Nature, 263 (1976), S. 122/3
[8] *Holland, F.S.:* UK Pat. (1976), Nr. 1, 444, 367
[9] *Nadebaum, P.R., und Fahidy, T.Z.:* J. Appl. Electrochem. 5 (1975), S. 249/54
[10] *Flett, D.S.:* Chem. Ind., 24 (1972), S. 983/8
[11] *Coeuret, F.:* J. Appl. Electrochem., 10 (1980), S. 687/90
[12] *Heiden, G., Raats, C.M.S., und Boon, H.F.:* Chem.-Ing.-Techn. 51 (1979), Nr. 6, S. 651/53
[13] *Raats, C.M.S., Boon, H.F., and Eveleens, W.:* Erzmetall 30 (1977), 9, S. 365/69
[14] *Lopez-Cacicedo, C.L.:* Trans. Inst. Met. Finish. 53 (1975), 2, S. 74/7
[15] *Kreysa, G.:* Metalloberfläche, 35 (1981), Nr. 6, S. 211/17
[16] *Samhaber, W.:* DE 3137405 A1

Der apparative Aufbau ist einfach und daher sehr gut geeignet für die Anwendung einer Prozesssteuerung, die einen vollautomatischen Anlagenbetrieb sicherstellen kann.

Adresse des Verfassers: Univ. Doz. Dr. *W. Samhaber*, c/o Sandoz AG, Verfahrenstechnik, Lichtstrasse 35, 4002 Basel.

Aufarbeitung von Abfallsäuren

Apparative Lösungen für das Aufarbeiten von Abfallschwefelsäure durch Verdampfen des Wassers werden in der ganzen Spannweite von Gusskesseln über Quarz-Verdampferrohre bis hin zu Email-Zwangsumlaufverdampfern im Bertrams-System dargestellt. Die Beschreibung von Aufbau und Resultaten aus Versuchs- und Produktionsanlagen aus einer mehrjährigen Entwicklungszeit stellt die Einsatzmöglichkeiten der heutigen Konstruktionen für die Schwefelsäurerückgewinnung unter Beweis.

VON H. L. KÜHNLEIN, BASEL

Schwefelsäure wird in vielen chemischen Prozessen eingesetzt, ist aber in den wenigsten Fällen Bestandteil des Endproduktes. Es fallen deshalb häufig mit Wasser verdünnte Schwefelsäuren mit verschiedenen Verunreinigungen als Abfall an. Das Aufarbeiten von Abfallschwefelsäure durch Verdampfen des Wassers auf eine Konzentration von 96–97% ist seit langem bekannt.

Schon im Jahr 1915 hat Büsching eine Apparatur – Bild 1 – zum Patent angemeldet, in welcher ein gusseiserner Kessel mit direkter Feuergasbeheizung als Verdampfer eingesetzt wurde. Gusseiserne Kessel erreichen eine beschränkte Lebensdauer, wenn sie konstant mit hochkonzentrierter Schwefelsäure gefahren werden. Der Nachteil dieser Einrichtung liegt vor allem beim grossen Säure-Inhalt. Bei einer Leckage riskiert man, dass grosse Mengen siedende Säure in den Feuerraum gelangen und der Austritt von Säure aus dem Rauchgassystem nicht zu vermeiden ist.

Dieses noch heute angewendete Verfahren bildete die Ausgangslage, als die Bertrams AG Basel von einem der grossen Hersteller und Aufarbeiter von Schwefelsäure in der BRD 1973 eingeladen wurde, bei der Entwicklung einer Apparatur mitzuwirken, welche diese Nachteile ausschliessen sollte.

Das Problem bei der Hochkonzentrierung der Schwefelsäure liegt im starken Ansteigen der Siedetemperatur, Bild 2, welche im Bereich von 75 auf 87% H_2SO_4 unter Normaldruck von 185 °C auf 330 °C steigt. Fährt man eine solche Konzentrieranlage unter einem technisch noch vernünftig erreichbaren Vakuum von 60 Torr, so ist immer noch eine Endtemperatur von 225 °C notwendig. Ausser dem Siedeverhalten ist zu berücksichtigen, dass viele Säuren organisch verunreinigt sind und während des Aufkonzentrierens auch ein möglichst hoher Abbau des Organikagehalts durch Oxidation erreicht werden soll. Dies wiederum sprach zunächst für möglichst hohe Temperaturen.

Gesucht wurde eine Verdampferkonstruktion, welche indirekt mittels Wärmeträger beheizbar sein sollte und aus einem korrosionssicheren Material gebaut werden konnte.

Im Falle der Schwefelsäureaufarbeitung wurde zunächst davon ausgegangen, dass Salzschmelze als Wärmeträger einzusetzen wäre, und es entstand dann der Entwurf eines Verdampfers in Modul-Bauweise mit einem Fallfilmeffekt, wie er ähnlich für das Hochkonzentrieren von Natriumhydroxidlösungen damals bereits seit einigen Jahren mit Erfolg eingesetzt wurde.

Bild 3 zeigt das erste System, mit dem die industrielle Pilotierung vorgenommen wurde. Beim Entwurf des Moduls Fallfilmverdampfer mit Rektifikator zeigte es sich bald einmal, dass im Konzentrationsbereich von 75 bis 98% H_2SO_4 kein Metall eingesetzt werden konnte. Es entstand deshalb eine Konstruktion mit einem Quarz-Verdampferrohr, welches schliesslich in Abmessungen von 150 mm Durchmesser bis zu 6 m Länge eingesetzt wurde. Eine solche Pilotanlage wurde während mehrerer tausend Stunden mit schwach

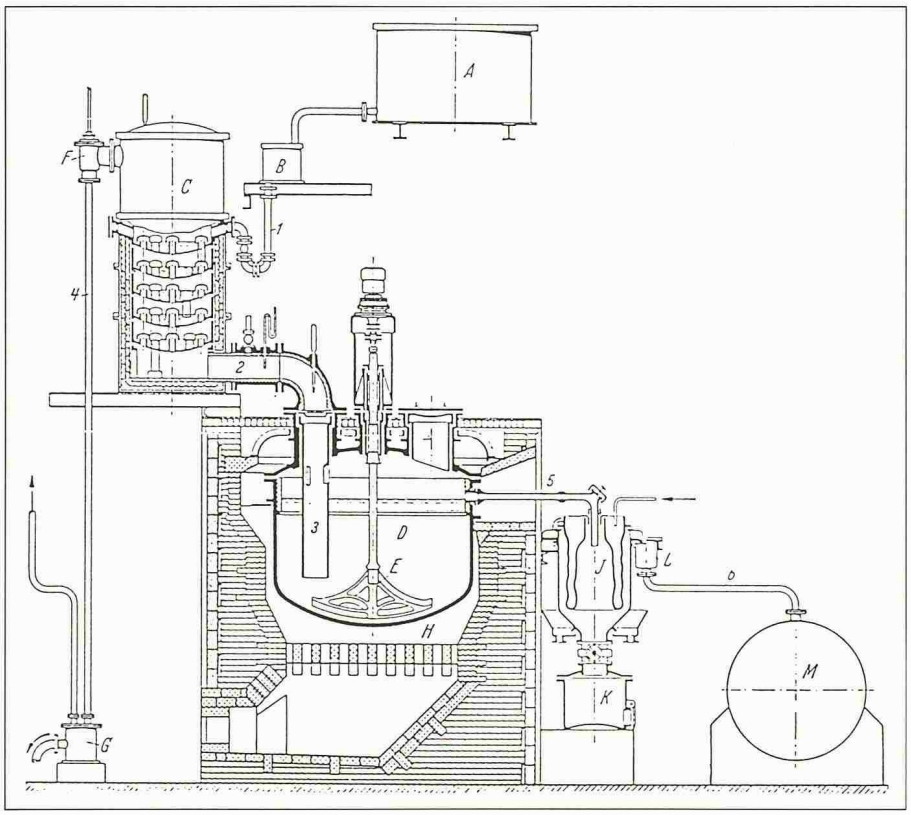


Bild 1. Büsching-Gusskessel aus dem Jahr 1915

verunreinigten Schwefelsäurelösungen probeweise gefahren. Viele Erkenntnisse aus diesen Pilotversuchen führten im Jahr 1976 zur Auslegung einer ersten industriellen Anlage, welche in der BRD für einen Probebetrieb gebaut wurde.

Um die Kosten für die Anlage zu reduzieren, fiel die Wahl auf eine zweistufige Eindampfung, bei welcher in einem ebenfalls mit Wärmeträger beheizten emaillierten Zwangsumlauf-Vorverdampfer zunächst die mit 64% anfallende Säure auf 85% aufkonzentriert wurde. Der industrielle Betrieb mit stark verschmutzten Säuren brachte dann – wiederum nach einem längeren Zeitabschnitt – die Erfahrung, dass die Fallfilmverdampfung auch bei Zugabe von Oxidationsmitteln bei hohen Temperaturen zu geringe Aufenthaltszeiten im Fallfilm zuliess, um grössere Mengen Organika abzubauen, und dass dieser Abbau bei tieferen Temperaturen und bei längerer Verweilzeit in einem Zwangsumlaufverdampfer besser ablaufen kann.

Gleichzeitig kam die erstaunliche Erkenntnis, dass ein emaillierter Zwangs-

Bild 2. Siedekurve H2SO4

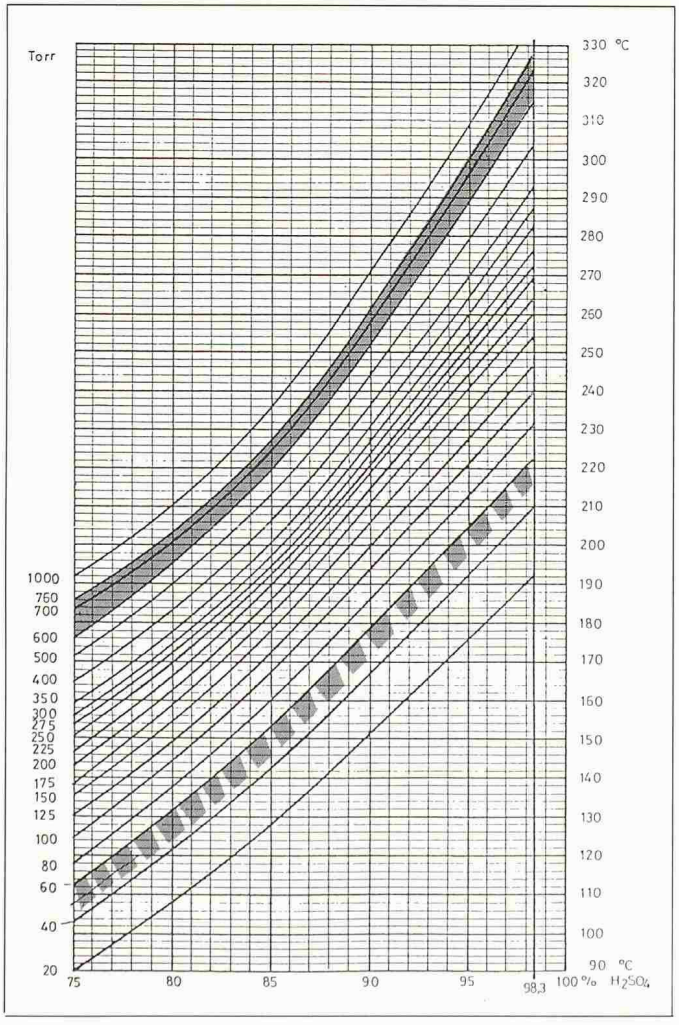
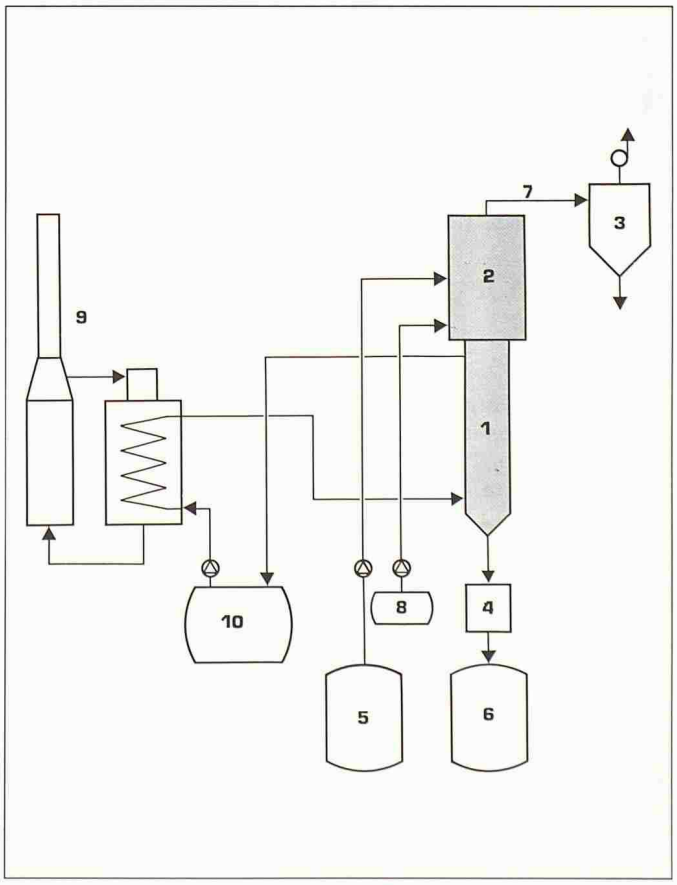


Bild 3. Quarzrohr-Fallfilmverdampfer

1 Fallfilmverdampfer
2 Rektifikator
3 Brüdenkondensator
4 Kühler für konzentrierte Säure
5 Rohsäure
6 Konzentrierte Säure
7 Brüden
8 Reinigungsmedium
9 Heizanlage
10 Wärmeträgersalz



umlaufverdampfer unter bestimmten Verhältnissen mit Hilfe der Wärmeträgerheizung derart hoch gefahren werden kann, dass damit unter Vakuum Schwefelsäurekonzentrationen von 97% H_2SO_4 erreicht werden können. Es wurde somit ein zweiter Schritt in dieser Entwicklung eingeleitet, nämlich das Hochkonzentrieren im Email-Zwangsumlaufverdampfer mit der Durchführung von Versuchen mit stärker verschmutzten Säuren aus verschiedenen Prozessen unter Zugabe von Oxidationsmitteln und Erfassung des TOC- bzw. des CSB-Gehalts am Zufluss und Austritt der Anlage. Auf diese Weise wurde auch festgestellt, dass ein *höherer Abbau* von Organika im Email-Zwangsumlaufverdampfer erreicht werden konnte als in bisher bekannten Anlagen.

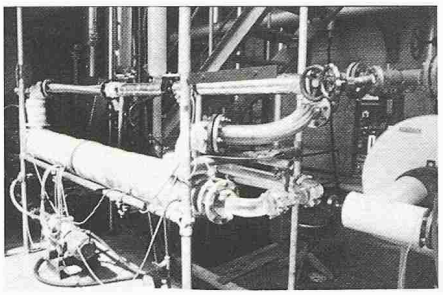


Bild 4. Versuchsapparatur für die Ermittlung von Email-Crash-Bedingungen

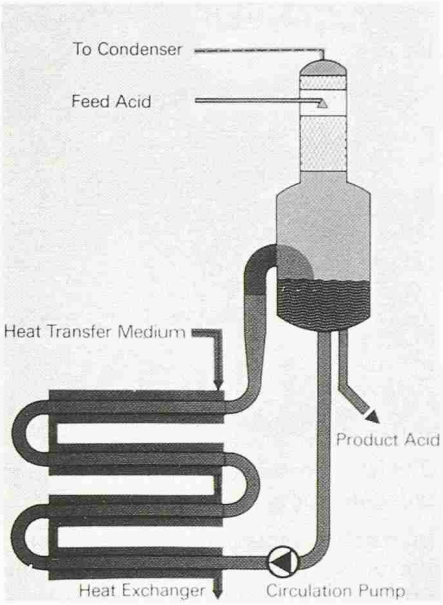


Bild 5. Der BERTRAMS-HOKO-Verdampfer für Schwefelsäure

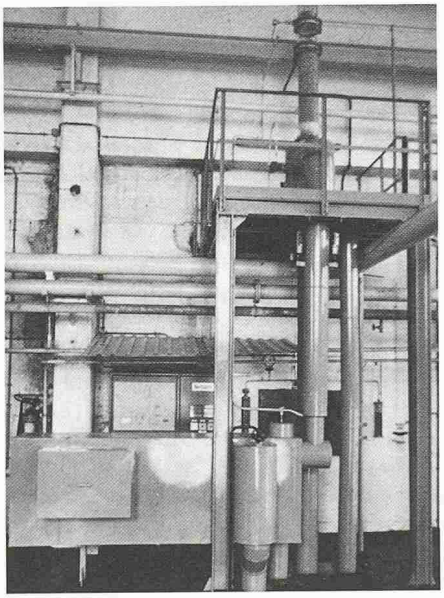


Bild 6. Schwefeläure-Hochkonzentrieranlage in Attisholz für die Chlortrocknung

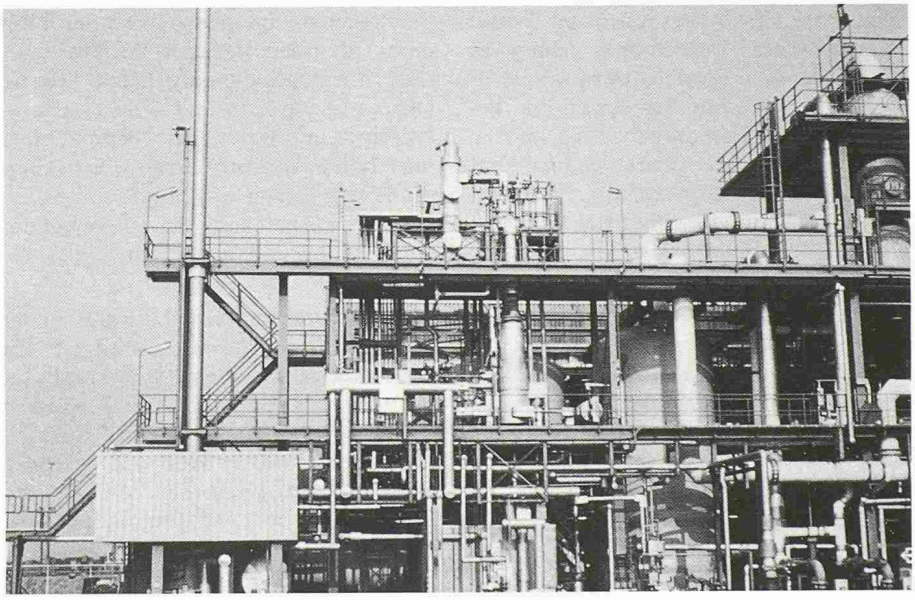


Bild 7. Schwefelsäure-Rezirkulierungsanlage für 16,5 Tonnen H2SO4 pro Tag

Bild 8. Anlage für die Aufarbeitung von Schwefelsäure mit Verkrackungsrückständen

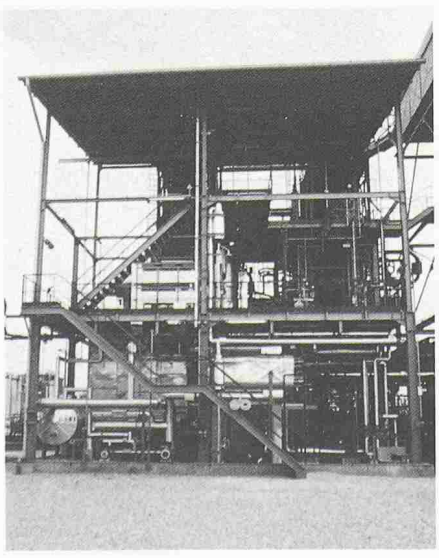
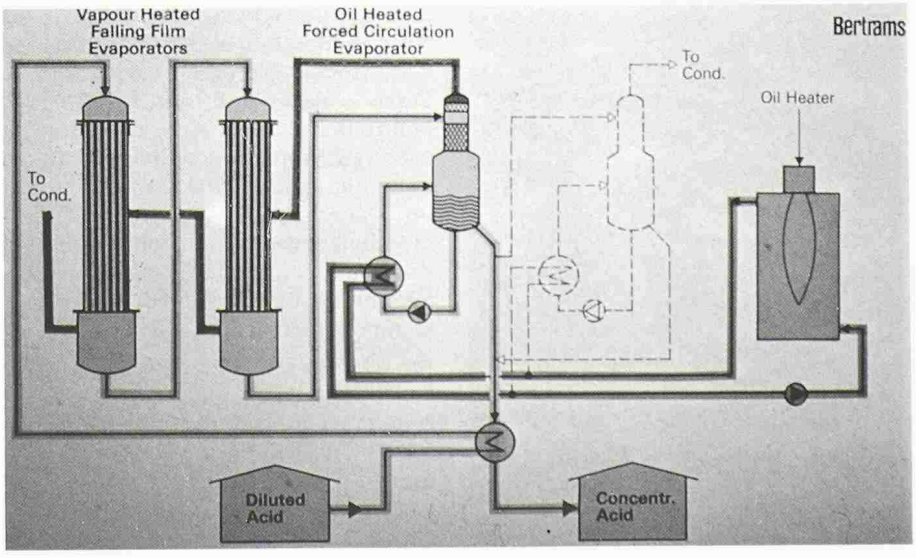


Bild 9. Schema einer dreistufigen Verdampferanlage für die Schwefelsäurerückgewinnung



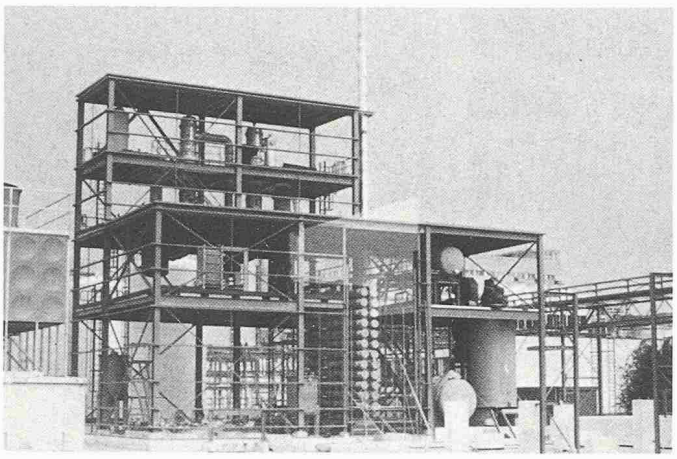


Bild 10. Grossanlage für die Schwefelsäurerückgewinnung unter Montage

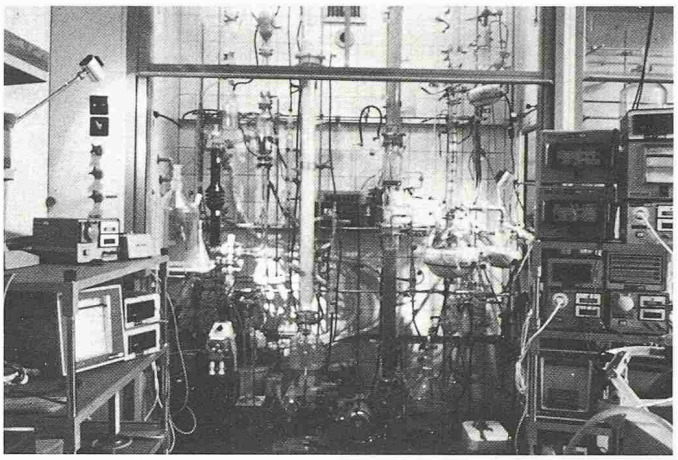


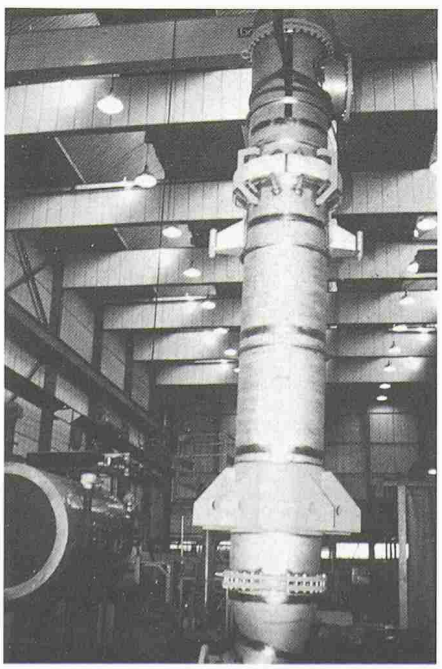
Bild 12. Labor für die Untersuchung der Rezirkulierbarkeit von Schwefelsäure

Inzwischen entstand zusätzlich eine Versuchseinrichtung, Bild 4, für die Prüfung der mechanischen Belastbarkeit der Emailelemente. Mit einer Anzahl von Crash-Versuchen an Email verschiedener Provenienz gelang es eindeutig, eine Betriebsführung festzulegen, bei welcher das Email im Betriebszustand über die ganze Wärmeaustauschfläche bei einer genügenden Restdruckspannung gehalten werden kann, so dass die mechanische Beständigkeit des Emailbelags sichergestellt wird.

Zusätzliche Korrosionstests im Labor zeigten die Korrosionsbeständigkeit des Emails gegenüber allen angewendeten Schwefelsäurekonzentrationen.

Somit war dann nach einer langen Entwicklungszeit endlich das Konzept für eine wirtschaftliche Aufarbeitung von Schwefelsäure im Konzentrationsbereich von 75 bis 97% H_2SO_4 geboren.

Bild 11. Vorverdampfer für verdünnte Säuren



Das Kernstück ist ein HOKO-Verdampfer nach Bild 5 aus emaillierten doppelwandigen Rohrelementen, die in Modul-Bauweise zu beliebig grossen Flächen zusammengebaut werden können. Das oben liegende Abscheidegefäss, in welches die aufgeheizte Lösung entspannt wird, besitzt eine Abtriebskolonne, auf welche die 75prozentige oder höher vorkonzentrierte Schwefelsäure aufgegeben wird, und schliesslich eine Verstärkersäule, um die abgehenden Brüden möglichst schwefelsäurefrei austreten zu lassen.

Das Konzept in dieser Bauweise eignet sich auch für kleine Leistungen. Im Laufe der Pilotierungen von Abfallsäuren aus unterschiedlichen Prozessen stellte sich heraus, dass eine Schwefelsäure nur dann sinnvoll aufgearbeitet werden kann, wenn sich die Zusammensetzung der Verunreinigungen in bekannten Grenzen bewegt. Diese Bedingungen können am besten erreicht werden, wenn die Säure aus ein- und demselben Prozess kommt und auch wieder in diesen rezirkuliert werden kann.

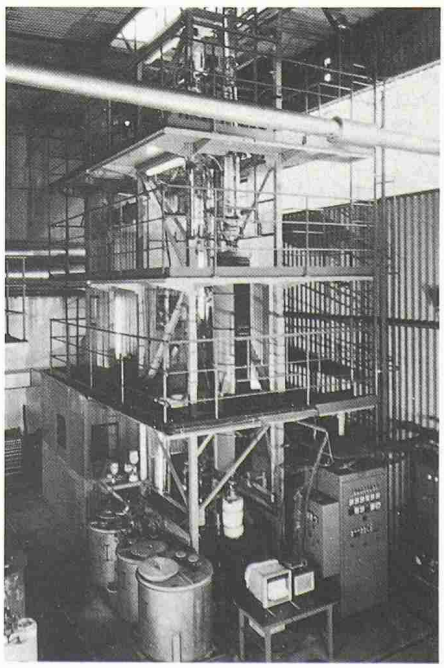
Als nächsten Schritt ging es darum, dieses Konstruktionsprinzip im Dauerbetrieb testen zu können. Es gelang, eine erste kleine HOKO-Anlage, Bild 6, bei der Cellulosefabrik Attisholz für den Chlortrockungsprozess einzusetzen. Diese Anlage läuft seit Januar 1980 kontinuierlich im Rezirkulierungsbetrieb synchron mit der Chlortrocknung und steht nahezu 8000 Stunden im Jahr im Dauerbetrieb. Die jährlichen Inspektionen weisen den einwandfreien Zustand der Emailflächen, der Umwälzpumpe und verschiedener anderer Komponenten nach.

Im Jahr 1983 erteilte eine Chlorfabrik in Holland den Auftrag für die Lieferung einer grösseren industriellen Anlage zur Rezirkulierung von 16,5 Tagestonnen Schwefelsäure (100%) in der Chlortrocknung. Auch diese Anlage, die auf Bild 7 dargestellt ist, läuft seit ihrer Inbetriebnahme im November 1983 ununterbrochen im Dauerbetrieb.

1984 folgte ein Auftrag für eine besonders interessante Anwendung: In einem petrochemischen Prozess, in welchem der Schwefelsäurestrom mit Verkrakkungsrückständen verunreinigt wird, können diese Rückstände in einem so hohen Mass abgebaut werden, dass die Prozessanlage über längere Zeit kontinuierlich gefahren werden kann, was die besondere Fähigkeit des Bertrams-Prinzips unter Beweis stellt.

Diese auf Bild 8 dargestellte Anlage hat eine Leistung von 24 tato H_2SO_4 100%. Die Säure wird auf 88% H_2SO_4 konzentriert. Die Säuretemperatur im Abscheidegefäss wird konstant auf 220 °C gehalten. Diese Anlage ist seit Juni 1984 in Frankreich im Einsatz. Vor der Rezierkulierung der Säure musste die gesamte Prozessanlage alle 2 Monate abgestellt und von Verkrackungsrück-

Bild 13. Pilotanlage im Versuchstechnikum der BERTRAMS AG



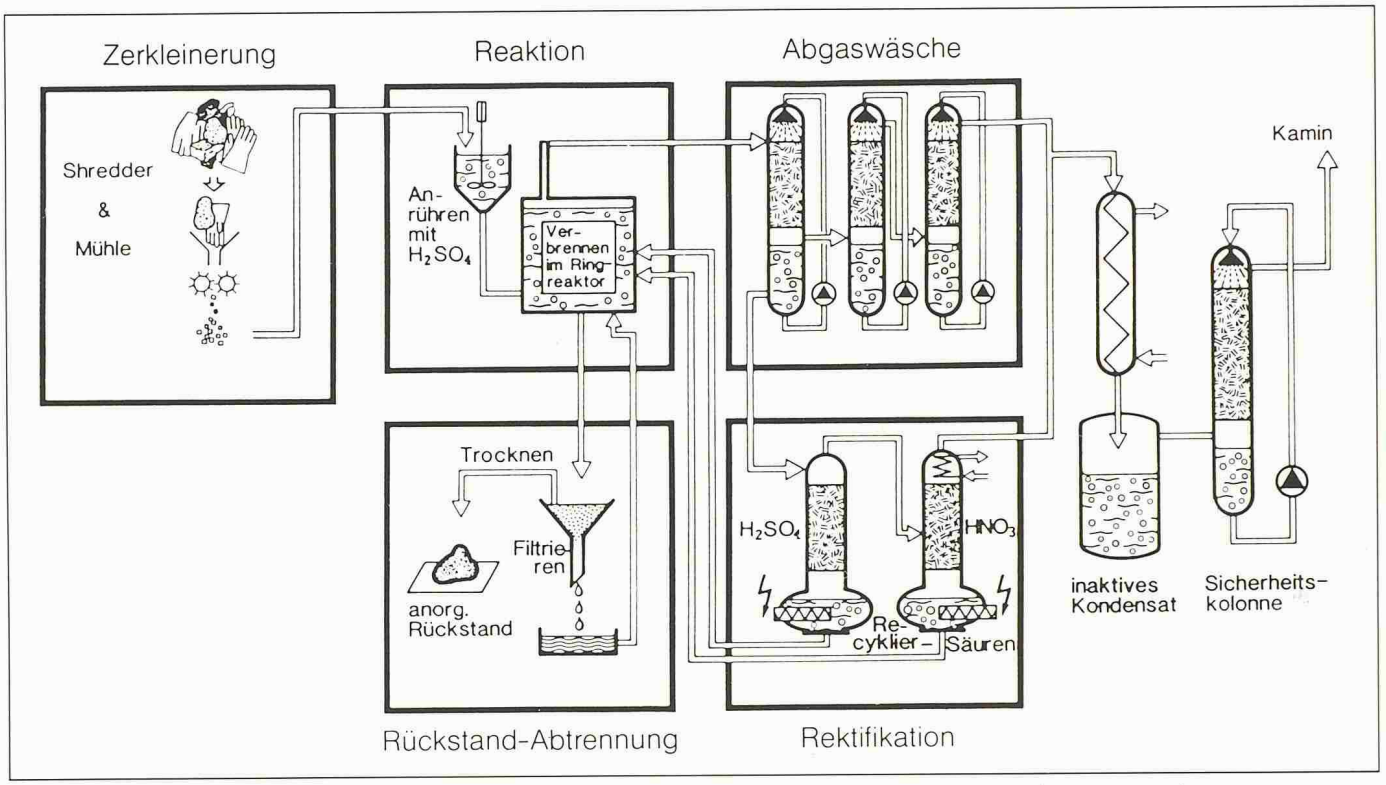


Bild 14. Acid-Digestion-Anlage, gebaut von BERTRAMS AG für das Eidg. Institut für Reaktorforschung, Würenlingen

ständen befreit werden. Die Aufarbeitung der Schwefelsäure mit dem kontinuierlichen Abbau der Verkrackungsrückstände ermöglicht nun tatsächlich einen Dauerbetrieb über viele Monate ohne Reinigungsunterbrüche. Nach diesen ermutigenden Erfahrungen war es möglich, an grössere Aufgaben heranzugehen und die Aufarbeitung stärker verdünnter Säuren in grösseren Mengen mit einzubeziehen. Es entstand dadurch ein wärmewirtschaftlich besonders günstiges Konzept.

Bei der Herstellung eines neuen Kunststoffes fällt relativ reine 20prozentige Schwefelsäure an. Damit die Säure wieder eingesetzt werden kann, muss sie auf 78% H_2SO_4 aufkonzentriert werden. In Anbetracht der grossen Dünnsäuremenge von 325 tato 20% H_2SO_4 und der notwendigen Wasserverdampfung von 10 Tonnen pro Stunde wurde eine dreistufige Verdampfung nach Schema Bild 9 mit Brüdenwärmenutzung ausgelegt. Die zwei ersten Verdampfer sind Fallfilmverdampfer aus einem metallischen Werkstoff. Sie arbeiten unter Vakuum und werden im Gegenstromprinzip mit Brüden aus der nachfolgenden Stufe beheizt. Als letzte Stufe dient der unter Normaldruck arbeitende Email-Zwangsumlaufverdampfer. Da der Siedepunkt der 78prozentigen Schwefelsäure in diesem Verdampfer bei etwa 200 °C liegt, ist auch diese Lösung mit unserem Email-Zwangsumlaufverdampfer ideal realisierbar.

Gestrichelt eingezeichnet ist eine weitere Emailstufe, welche für das Hochkonzentrieren bis 97% eingesetzt werden kann.

Das Bild 10 zeigt eine für einen holländischen Kunden realisierte Grossanlage mit einer Leistung von 80 tato unter Montage. Sichtbar sind im Mittelfeld die in zwei Reihen übereinander angeordneten Emailelemente, rechts im Bild die Wärmeträgerheizanlage, links oben die Vorverdampferstufen in Metall. Das Bild 11 zeigt einen in den Bertrams-Werkstätten gebauten Fallfilmverdampfer. Im Bereich von 20 bis 70% H_2SO_4 sind u. a. Hastelloy C und Zirkonium als metallische Werkstoffe eingesetzt.

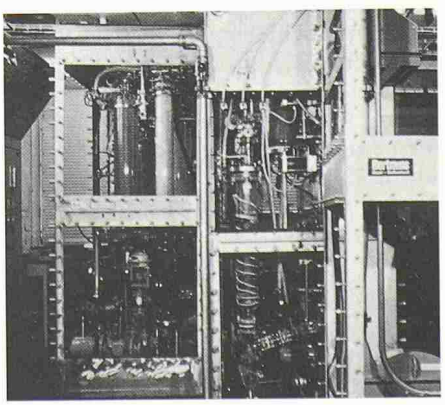
Diese Beispiele geben einen Einblick in die langwierige Entwicklung zur Verwirklichung eines neuen Apparatekonzepts für die Schwefelsäure-Hochkonzentrierung, welches – so bleibt zu hoffen – in zunehmendem Masse Einsatz finden wird. Das Interesse für Anlagen zur Rezirkulierung verunreinigter Schwefelsäuren hat in den letzten Jahren zugenommen. Das Verfahren ist wirtschaftlich, wenn man nicht nur den Marktpreis, sondern auch die Kosten für die Beseitigung der Abfallsäuren berücksichtigt.

Das Bertrams-Labor, Bild 12, ist inzwischen so ausgerüstet, dass die Hochkonzentrierbarkeit und das Reinigen aufgrund von Tests mit kleinen Säuremengen beurteilt werden kann.

Der Aufwand für ein brauchbares Richtangebot wird auf diese Weise bescheiden gehalten.

Zur Ermittlung zuverlässiger Betriebsdaten kann ein Pilot-Probebetrieb über mehrere Tage in unserem Versuchstechnikum, Bild 13, durchgeführt werden. Dies ermöglicht es, das Engineering für eine ausführungsreife Anlage zu erarbeiten. Kürzlich wurde z. B. im Zusammenhang mit einem Projekt für den Bau einer Polyurethananlage das Engineering für eine HOKO- und Reinigungsanlage nach unserem Verfahren für Schwefelsäure aus dem Nitrierprozess ausgearbeitet. Es waren dabei 500 tato H_2SO_4 100% von 68% auf 96% aufzukonzentrieren. Für die gereinigte Säure konnte in diesem Fall ein Restgehalt an organischem Kohlenstoff unter 50 ppm und eine helle Farbe ga-

Bild 15. Sicherheitsbox-Konstruktion



rantiert werden. Ein Nitrosylschwefelsäuregehalt war nicht mehr feststellbar.

Ferner ist kurz über ein Konzept zu berichten, bei welchem Bertrams aufgrund der Erfahrungen mit siedender Schwefelsäure im Auftrag des Eidgenössischen Instituts für Reaktorforschung in Würenlingen die Versuchsanlage gemäss Bild 14 gebaut hat.

Bei der Entsorgung toxischer oder schwach radioaktiver Abfälle spielt die Volumenreduktion eine grosse Rolle. Durch Veraschung der brennbaren Teile dieser Abfälle kann eine Reduktion des Abfallvolumens um den Faktor 50 erzielt werden.

Die nass-chemische Veraschung der brennbaren Abfälle wird in konzentrierter Schwefelsäure in Gegenwart von Salpetersäure bei einer Temperatur von 250 °C durchgeführt. Die Anlage nach Schema Bild 14 umfasst eine Mahleinrichtung für die Abfälle, ein Anrührgefäss für das Ansetzen des Abfallbreis in konzentrierter Schwefelsäure, einen Ringreaktor aus Quarz als Natur-Umlaufverdampfer, eine Gas-Waschstrecke, in welcher Schwefeldioxid und nitrose Gase mittels Wasserstoffperoxid zu Schwefelsäure und Salpetersäure oxidiert werden, eine Säurerektifikation zur Rückgewinnung der Schwefelsäure sowie eine Rückstandsabtrennung. Der Salzkuchen wird in einem Quarzgefäss bei Temperaturen bis 450 °C getrocknet.

Die für das EIR von uns konstruierte und ausgeführte Versuchsanlage besteht aus 6 Arbeitseinheiten, Bild 15. Zur Verhinderung des Austritts giftiger und radioaktiver Stoffe sind die Apparaturen in dichten Boxen untergebracht. Aus Sicherheitsgründen steht das Innere der Boxen unter leichtem Unterdruck. Der Stahlboden der Boxen ist hochgezogen, damit die vollständige Aufnahme des Säureinhalts bei Leckagen sichergestellt ist.

Der Inhalt dieser Säureanlage beträgt etwa 600 Liter. Der Auslegungs-Durchsatz beträgt 1 kg Abfall pro Stunde.

Die Anlage ist mit einer frei programmierbaren Steuerung überwacht. Unter der Leitung von Herrn Prof. Richarz sind auch Versuche über den Abbau chemotoxischer Substanzen, u. a. auch von PCB, durchgeführt worden.

Das Verfahren erwies sich als erfolgversprechend für die Veraschung von Ionenaustauscherharzen.

Adresse des Verfassers: *H. L. Kühnlein*, c/o Bertrams AG, Postfach, 4132 Muttenz.

Abgasreinigung mittels fixierter Zellen

Die unter idealisierten Bedingungen durchgeführten Untersuchungen zur biologischen Abgasreinigung zeigten, dass granulierte Aktivkohlen günstige Eigenschaften als biologisches Trägermaterial aufweisen. Neben einer schnellen und stabilen Zellfixierung konnten Modellgasströme mit einer Reihe technisch relevanter Schadstoffe bei hohen Raumgeschwindigkeiten gereinigt werden.
Bei dem hier untersuchten Reaktionssystem kann als geschwindigkeitsbestimmender Schritt der Stofftransport in der Flüssigphase angesehen werden. Bei sehr langsam abbaubaren Substanzen, wie halogenierten Kohlenwasserstoffen oder Aromaten, könnte der Prozess mehr in den kinetisch kontrollierten Bereich verschoben werden.
Weiter ist bei instationären Betriebsbedingungen (Konzentrationsspitzen, diskontinuierliche Volumenströme) eine Schadstoffadsorption bzw. -desorption an der A-Kohle zu erwarten, woraus eine erhöhte Betriebsstabilität bei biologischen Abgasreinigungsverfahren resultiert.

VON G. HAUK, BASEL

Die Umwandlung von Luftverunreinigungen durch mikrobielle Abbauvorgänge – wie dies seit mehr als 100 Jahren gezielt bei der Reinigung von Abwässern geschieht – ist bislang nur in speziellen technischen Bereichen, wo beispielsweise Geruchsemissionen auftreten, realisiert. Die dabei am häufigsten eingesetzten Verfahren sollen vorab anhand von zwei Ausführungsbeispielen veranschaulicht werden (Bild 1):

- beim sogenannten *Biofilter* werden biologisch aktive Materialien wie Torf oder Kompost auf Roste ausgeschüttet. Das Rohgas strömt von unten durch die Schüttung und wird von den anhaftenden Mikroorganismen gereinigt (Bild 2):
- Im *Biowäscher* werden die Schadstoffe in Absorptionskolonnen mit Bakteriensuspensionen ausgewaschen und in getrennten Belebungsbecken von den Mikroorganismen umgesetzt.

Obgleich die Vorteile von biologischen Abluftreinigungsverfahren, wie niedrige Betriebstemperaturen und damit verbundene geringe Investitionskosten, offensichtlich sind, werden sie von der Praxis zurückhaltend aufgenommen. Dies ist hauptsächlich auf die niedrige raumspezifische Leistung und geringe Anpassungsfähigkeiten der Anlagen zurückzuführen. Die Problematik liegt im weitesten Sinne darin begründet, dass die reaktions- und verfahrenstechnischen Abläufe in den Anlagen weitgehend unbekannt und undefiniert sind und deshalb meist nicht eingehalten werden. Die Zielsetzung der Untersuchungen war es, diese in den Grundlagen zu erarbeiten.

Der ganz grob betrachtet in zwei Schritten
- der Sorption und dem
- biologischen Abbau

der Schadstoffe ablaufende Prozess wurde in einem verfahrenstechnisch bekannten Apparat, einem Rieselbettreaktor, unter idealisierten Bedingungen untersucht. Zum Einsatz kamen dabei granulierte A-Kohlen, auf denen Bakterienmonokulturen fixiert wurden. Dadurch sollte auch gegenüber konventionellen Verfahren eine Prozessverbesserung erreicht werden.

Als Modellschadstoffe kamen biologisch relativ leicht abbaubare Lösungsmittel zum Einsatz.

Schwerpunktmässig möchte ich nun auf folgende Punkte eingehen:

1. Einige Grundlagen zur Immobilisierung von Mikroorganismen
2. Kombinierte Bakterien-/Aktivkohle-Systeme in der weitergehenden Abwasserreinigung
3. Versuchsanordnung und -durchführung
4. Charakterisierung der verwendeten A-Kohlen
5. Aufbau der biologisch aktiven A-Kohleschüttung – Modellierung der Zelladsorption
6. Leistungsfähigkeit des Rieselbettreaktors
7. Stofftransport mit biologischer Reaktion
8. Substrat-Bakterien-Bilanz
9. Vergleich Biowäscher-Rieselbettreaktor