ABAG
Die Abfallberatungsagentur

Projektbericht

Aufarbeitung von Mischbettionenaustauscherharzen aus Drahterodiermaschinen für den Wiedereinsatz sowie zur Rückgewinnung der von den Harzen aufgenommenen Metalle

im Auftrag der
ABAG-Abfallberatungsagentur
Baden-Württemberg
Stauferstr. 15
D-70736 Fellbach

Projektträger
UT & S Umwelttechnik und
und Service GmbH & Co. KG
Carl-Benz-Straße 6
D-75217 Birkenfeld

Projektbegleiter
DKM-Unternehmensberatung
Reutestr. 23/2
D-72124 Pliezhausen

Oktober 1998

Erarbeitung:
DKM-Unternehmensberatung, Herrn Dr. Mertz, Reutestr. 23/2, 72124 Pliezhausen

Für die kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich die ABAG insbesondere bei Herrn Dengler und Herrn Nothacker, UT&S.

Die Durchführung dieses Modellprojekts sowie die wissenschaftliche Begleitung wurde mit Mitteln der Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg unterstützt.

Herausgeber:
ABAG-Abfallberatungsagentur
Geschäftsbereich der
SAA-Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0
Fax: 0711 / 95 19 11 - 20
E-Mail: abag@saa.de

Projektleitung:
Dipl.-Ing. Herrmann Kißler

Oktober 1998

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung — Seite 2

2. Einleitung — Seite 4

3. Abfallrelevanz bei Erodierprozessen — Seite 6

4. Einsatz von Mischbettionenaustauscherharzen — Seite 8

5. Beschreibung des Projektes — Seite 10
   - 5.1 Ausgangslage — Seite 10
   - 5.2 Werkstoffspezifische Erfassung und Transport von Mischbettharz — Seite 11
   - 5.3 Kurzbeschreibung des Betriebes und der neuen Regenerations-und Abwasseraufbereitungsanlage — Seite 14
   - 5.4 Aufbereitungsanlage für Mischbettharze — Seite 14
     Blockschema zur Harztrennung und -aufbereitung — Seite 17
   - 5.5 Analytik und Qualitätssicherung — Seite 16

6. Einsatz von regenerierten Mischbettharzen in Pilotbetrieben — Seite 20
   - 6.1 Einführung und Kapazitätsbewertung — Seite 20
   - 6.2 Einsatzerfahrungen bei Pilotbetrieben (Anwendern) — Seite 21

7. Verwertung der Regenerierschlämme — Seite 24

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung — Seite 29

9. Beurteilung der Übertragbarkeit — Seite 31

10. Literatur — Seite 32

Anhang : — Seite 33

Aufstellungsplan der Regenerier- und Abwasseraufbereitungsanlage Fa. UT&S
Verkaufte Schneiderodiermaschinen und Marktanteile 1993, 1994, 1995
Tabelle: Einstufung von Abfällen nach LAGA und EAK
Prüfprotokolle der Harzkapazität als Fertigungskontrolle und zur Qualitätsdokumentation
Erhebungsbogen: Kundenerfahrungen / Befragung bei Pilotbetrieben

1. Zusammenfassung

Insbesondere im Werkzeugbau werden komplexe Formen bevorzugt durch Draht- oder Senkerodieren hergestellt. Beim Drahterodieren wird entionisiertes Wasser als Dielektrikum und Spülmedium eingesetzt. In dieses Prozesswasser werden durch den Elektroerosionsprozess Metalle sowohl als Partikel, als auch in gelöster Form als Verunreinigung eingetragen. Zur Entfernung der Partikel (Erodierschlamm) werden geeignete Filtrationseinrichtungen eingesetzt. Die in Lösung gegangenen Metallionen lassen sich durch Ionenaustauscher entfernen, so daß das Prozesswasser mit guten Standzeiten im Kreislauf gefahren werden kann.
Neben den mit Erodierschlämmen beladenen Filterpatronen weisen verbrauchte Ionenaustauscherharze die größte Sonderabfallrelevanz beim Drahterodieren auf. Die hierbei eingesetzten Mischbettionenaustauscher (gemischte Kat- und Anionenaustauscherharze) werden vorwiegend noch als Einwegharze eingesetzt. Nach erschöpfter Aufnahmekapazität müssen sie wegen des Gehalts an Schwermetallen als Sonderabfall entsorgt werden.
Bei einem Bestand von ca. 9.000 bis 10.000 Drahterodiermaschinen in der BRD führt dies zu einer Sonderabfallmenge von ca. 3.200 m³/a. Mit ca. 6.000 installierten Maschinen liegt der Anwenderschwerpunkt in Baden-Württemberg.
Wie z.B. im Bereich der Galvanotechnik bereits eingeführt, werden inzwischen auch für Mischbettionenaustauscher regenerierbare Harze angeboten. Bei der Aufarbeitung der Regenerierlösungen entstehen jedoch heterogene Metallhydroxidschlämme (Neutralisationsschlämme) in erheblichen Mengen (ca. 75 Gewichts-% der regenerierten Harze), die als Sonderabfall deponiert werden müssen.

Ziel des Projekts war, bei der Fa. UT&S GmbH & Co. KG ein gesamtheitliches Regeneriersystem für Mischbettionenaustauscherharze aus dem Einsatzbereich des Drahterodierens aufzubauen, bei dem auch die entstehenden Metallhydroxidschlämme einer metallurgischen Verwertung zugeführt werden können und damit das Sonderabfallaufkommen erheblich reduziert wird. Dazu wurde

- eine werkstoffgruppenspezifische Regenerieranlage mit drei Linien entsprechend den vorwiegend verarbeiteten Werkstoffen (Stähle, NE-Metalle, Hartmetalle) mit einer Gesamtkapazität von 55.000 l / Monat konzipiert und aufgebaut,
- eine Logistik für ein Kassetten-Tauschsystem (Hol-Bring-System) für den Bereich Mischbettionenaustauscher entwickelt und
- unter Einbeziehung von ca. 40 Pilotbetrieben ein breites Erfahrungsspektrum im betrieblichen Einsatz sowie der Möglichkeiten der werkstoffgruppenspezifischen Erfassung gewonnen.

Mit der Zusammenführung einer neuen Regeneriertechnik mit einer kunden- und materialspezifischen Logistik konnte ressourcenschonende Regenerierung und weitgehende Vermeidung von Sonderabfällen realisiert werden. Der Verbrauch von Säuren und Laugen zur Regenerierung ist bei der Anlage um ca. 50% gegenüber dem bisherigen Stand der Technik vermindert worden. Die bei der Abwasserbehandlung der Regenerierlösungen anfallenden Metallhydroxidschlämme konnten metallurgisch verwertet werden.
Die mit diesem Projekt umgesetzte gesamtheitliche Lösung, ausgehend von der getrennten Stoffstromerfassung an den Erodiermaschinen in Kooperation mit den Maschinenherstellern, der erforderlichen Logistik bis hin zur Verwertung der verschiedenen Metallhydroxidschlämme, ermöglicht eine vollständige Sonderabfallvermeidung bei Einsatz der Ionenaustauschertechnik.

Für die Anwender, d.h. die Betreiber von Drahterodiermaschinen ergibt sich mit der Einführung der regenerierbaren Ionenaustauscherharze eine Verbesserung der betrieblichen Umweltsituation meist bei betriebswirtschaftlicher Gleichstellung gegenüber den Einwegsystemen. Ein Kostenvorteil errechnet sich insbesondere dann, wenn die sich aus der Umrüstung ergebenden, freiwerdenden Maschinenlaufzeiten zusätzlich produktiv genutzt werden können.
Die für den Anwender relevanten Preise für Harze und Logistik werden mit steigender Entfernung zur Regenerieranlage unattraktiver. Die im Rahmen des Modellprojekts erprobte Technik läßt sich auch auf andere Standorte übertragen, so daß bei entsprechendem Bedarf eine flächendeckende Versorgung aufgebaut werden kann. Die Übertragbarkeit auf andere Einsatzgebiete von Mischbettionenaustauschern, z.B. in Metallreinigungsanlagen (wäßrige Oberflächenreinigung) konnte ebenfalls nachgewiesen werden.

2. Einleitung

Unter den Fertigungsverfahren nach DIN 8580 werden die Erodierprozesse den abtragenden, thermischen Verfahren zugeordnet bzw. als thermisches Abtragen mit Funken (Funkenerosion) oder Lichtbogen eingeordnet.
Zur Herstellung von Werkzeugen oder komplex geformten Bauteilen wird die Funkenerosionstechnik [1] in zunehmendem Maße eingesetzt, insbesondere dann, wenn diese Bauteile oder Werkzeuge aus schwerbearbeitbaren Werkzeugstählen oder gar aus Hartmetall bestehen, um hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten und genügend lange Standzeiten bei geringen Toleranzvorgaben einhalten zu können.

Diese Bearbeitungstechnik erfordert neben der maschinellen und elektrotechnischen Grundausrüstung zur elektrischen Isolation der Schneidelektrode gegenüber dem zu bearbeitenden Werkstück ein Dielektrikum, das dünnflüssig genug ist, um den Spalt zwischen Elektrode und Werkstück vollständig zu füllen, sowie die bei dem Bearbeitungsprozess anfallenden Metallpartikel aufzunehmen und abzutransportieren und das gleichzeitig die Drahtelektrode und das Werkstück kühlen kann.

Einerseits kommen hierfür synthetisch hergestellte Kohlenwasserstoffprodukte in Frage, welche die technischen Anforderungen durchaus erfüllen, aber wegen der Sicherheitsaspekte (Brennbarkeit, Giftigkeit, Flüchtigkeit) erhebliche Gefahrenmomente aufweisen und deswegen hauptsächlich nur noch bei Senkerodiermaschinen Anwendung finden.
Bei Drahterodiermaschinen die größere Mengen an Dielektrikum benötigen (mehrere 100 Liter je Maschine) wird deswegen Wasser eingesetzt. Dieses muß zunächst von den ionogenen Wasserinhaltstoffen befreit werden, um die erforderliche Isolationseigenschaft, d.h. genügend geringe elektrische Leitfähigkeit zu erreichen (deionisiertes Wasser : DI-Wasser). Der Wirkungsgrad beim elektroerosiven Bearbeiten wird um so günstiger, je höher die angelegte elektrische Spannung zwischen Werkzeug (Formstempel oder Draht) und dem Werkstück ist. Dies bedingt jedoch eine immer vollständigere Entsalzung des Prozesswassers.

Der für den jeweiligen Arbeitsablauf notwendige Entsalzungsgrad (gemessen als elektrische Leitfähigkeit (LF) in µS/cm bzw. MΩ*m) wird dadurch erreicht, daß das Dielektrikum ständig oder leitfähigkeitsgesteuert über einen Mischbettionenaustauscher umgewälzt wird. Im Laufe des Prozesses wird dieses Mischbettionenaustauscherharz mit Anionen und (Metall)Kationen beladen, die aus folgenden Quellen stammen:
- dem zugeführten Rohwasser,
- dem verwendeten Werkstoff und
- dem eingesetzten Schneidedraht,

wobei die Metallionen elektrochemisch im Dielektrikum herausgelöst werden.
Zusätzlich wird auch durch Luftinhaltstoffe - im wesentlichen Kohlendioxid - eine ständige Verunreinigung und damit eine Leitfähigkeitserhöhung des DI-Wassers hervorgerufen.

Stand der Technik ist, Mischbettionenaustauscherharze als Einwegharze einzusetzen, die nachdem ihre Aufnahmekapazität erschöpft ist, verworfen bzw. als Sonderabfall entsorgt werden müssen (Bild 1).
Mit diesem Modellprojekt wird nicht nur das Ziel verfolgt, die Deponierung der mit Schwermetallen beladenen Ionenaustauscherharze als Sonderabfall zu vermeiden, sondern auch die bei der Regeneration entstehenden Metallhydroxidschlämme einer stofflichen Verwertung zuzuführen und damit den Metallkreislauf zu schließen.

Die Verwerter (Metallhütten) verlangen jedoch für die Annahme solcher Metallhydroxidschlämme, daß diese möglichst sortenrein, zumindest jedoch nach Metallarten getrennt, angeliefert werden und bestimmte Mindestgehalte an den aufzuarbeitenden Metallen aufweisen. Um diese Anlieferkriterien zu erfüllen, ist es notwendig eine Selektion der verschiedenen als Werkstoffe eingesetzten Metalle zu gewährleisten und eine möglichst weitgehende Trennung der Stoffströme bereits an den Drahterodiermaschinen, also beim Bearbeiter, zu erreichen.
Eine chemische Trennung nach einer gemeinsamen Aufarbeitung ist ausgesprochen schwierig und damit unwirtschaftlich.

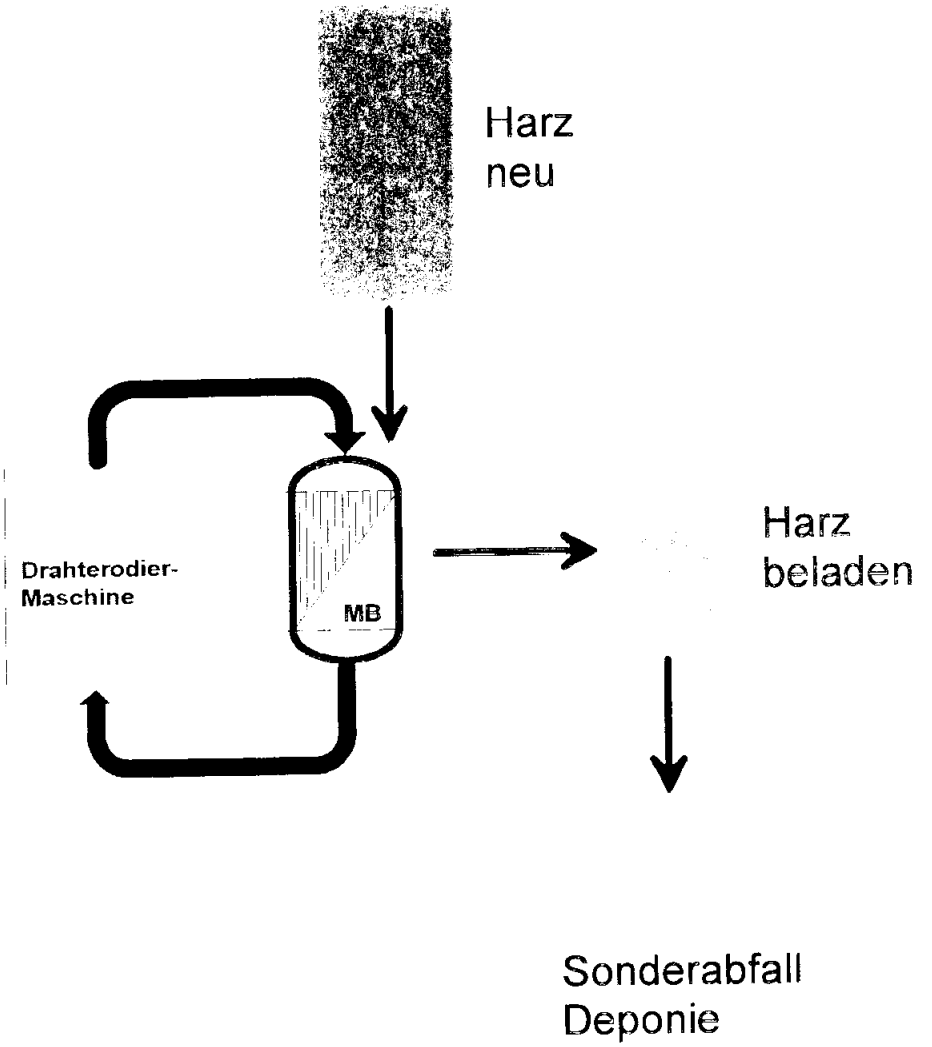


Bild 1 [2)] Bisheriger Entsorgungsweg für verbrauchte Einwegharze

3. Abfallrelevanz bei Erodierprozessen

Bei der elektroerosiven Metallbearbeitung [1], zu der die Drahterodiertechnik zählt, wird zwischen dem Schneidedraht (Schneidwerkzeug) und dem Werkstück durch eine angelegte elektrische Spannung ein Funkenüberschlag erzeugt, der um so energiereicher ist, je besser das Dielektrikum den Zwischenraum (Spalt) zwischen Werkstück und Werkzeug isoliert. Der Funke selber erzeugt auf beiden Seiten - am Werkzeug wie am Werkstück - für sehr kurze Zeit einen plasmaähnlichen Zustand, in dem hohe thermische Gradienten und damit auch hohe mechanische Spannungen erzeugt werden, die das Gefüge des Materials auseinanderbrechen lassen. Dadurch werden kleine Metallpartikel vom Werkstück wie vom Schneidedraht herausgeschlagen, die über das Dielektrikum abgeführt werden müssen. Diese Partikel können mit normalen Filtern (Einwegfilter) oder über rückspülbare Filter aus dem Dielektrikum entfernt werden (vergl. Bild 2, 3 aus dem Tagungsband "Abfallarmes Erodieren" [2]).

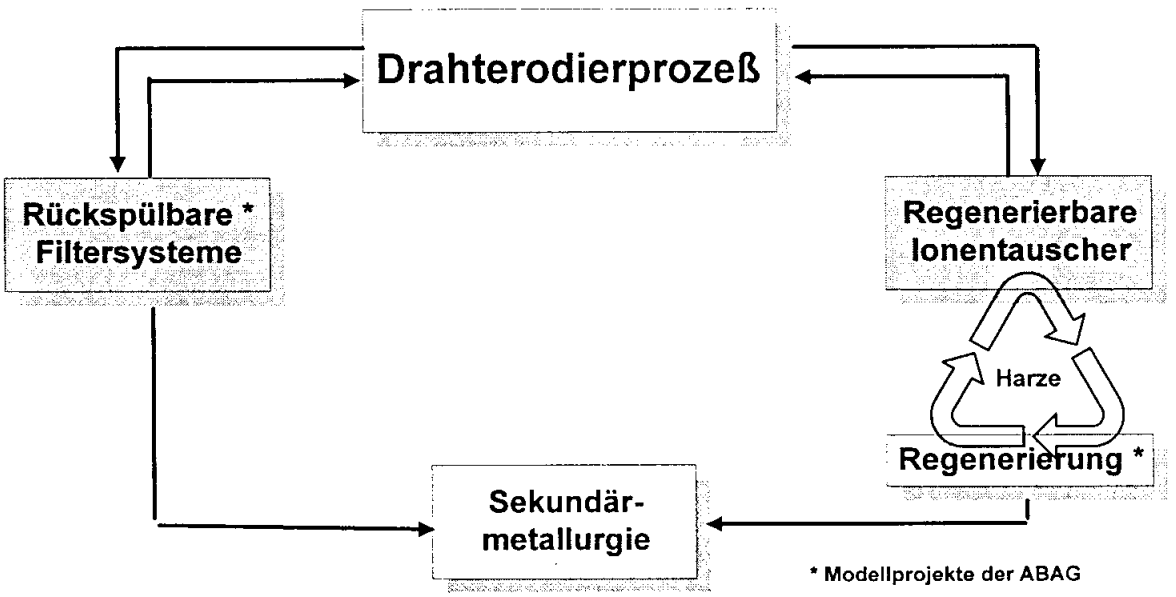


Bild 2 [2] Stoffkreisläufe beim Drahterodieren

Auf Grund des anstehenden elektrischen Feldes zwischen Erodierdraht und Werkstück werden die Metalle teilweise aufgelöst und bleiben ionogen in dem als Dielektrikum verwendeten Wasser gelöst. Ein Wasser mit solchen Metallionen kann für den weiteren Prozeß nicht nochmal verwendet werden, deswegen ist der Zwang zur Reinigung (Deionisierung) gegeben.
Abfallmengen von wesentlicher Bedeutung sind die Metallpartikel, die primär beim Erodiervorgang entstehen und die über Filter aus dem Kreislauf des Dielektrikums entfernt werden (Erodierschlamm). Ferner fallen die im Dielektrikum gelöste Metallionen an, die über Ionenaustauscher – wie in diesem Bericht beschrieben – aus dem Dielektrikum entfernt werden müssen. Ebenfalls ist noch die Entsorgung von verbrauchtem Prozesswasser zu nennen, das wegen weiterer Verunreinigungen wie z.B. Öle etc. in unregelmäßigen Abständen verworfen werden muß.

Zur Standzeitverbesserung der Ionenaustauscherharze und zur Beschleunigung der Prozesswasseraufbereitung kann eine Umkehrosmoseanlage zur Vorentsalzung des Rohwassers eingesetzt werden. Im allgemeinen müssen die Drahterodieranlagen nach einem Wasserwechsel

über Nacht – ohne mechanisch zu produzieren – im Kreislauf betrieben werden, um das Wasser zu entsalzen und auf Temperatur zu bringen. Durch das Zwischenschalten einer kleinen Umkehrosmoseanlage (UO)- Anlage kann zusätzlich die Standzeit der Ionenaustauscherharze nochmals um den Faktor 2 – 3, je nach gegebener Wasserhärte, verbessert werden.

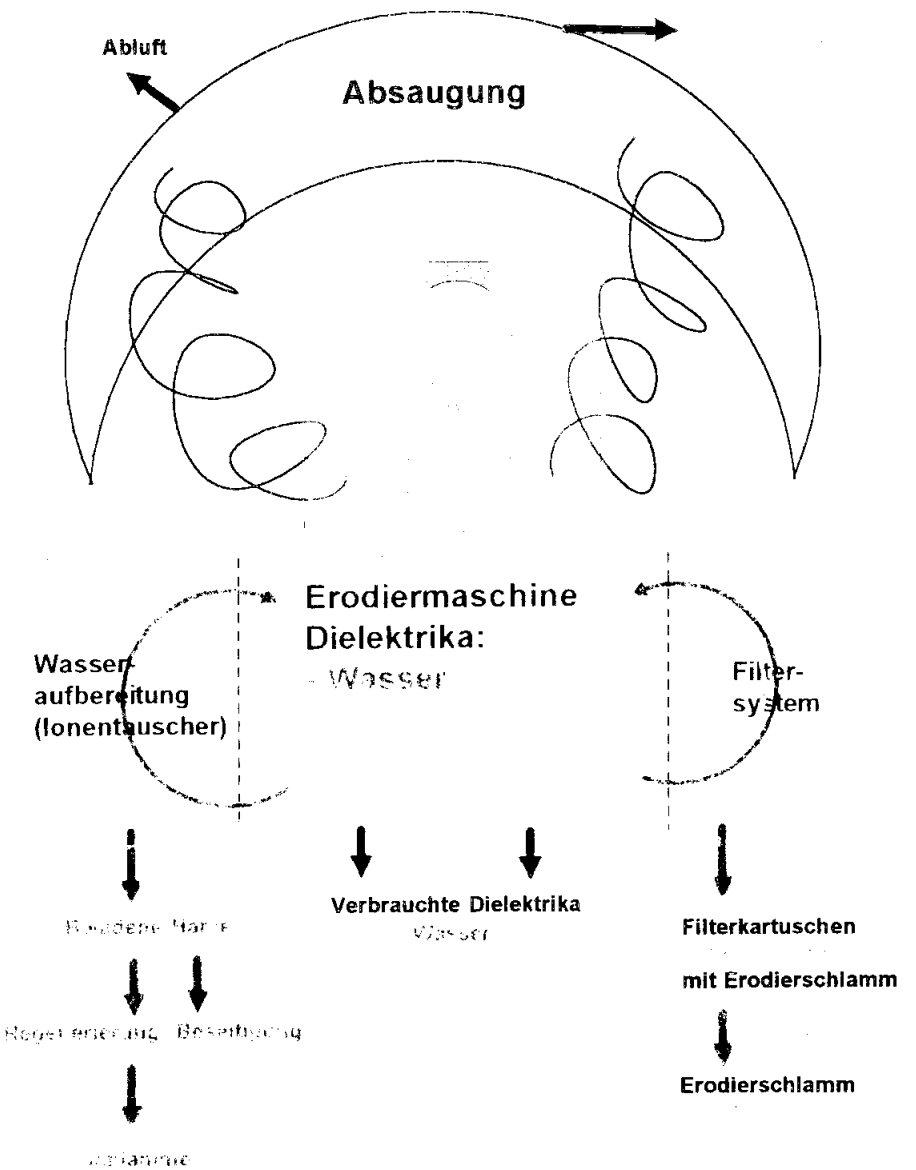


Bild 3 [2)] Abfallrelevanz beim Draht- und Senkerodieren

4. Einsatz von Mischbettionenaustauscherharzen

Funktionsweise und Aufbau eines Mischbettionenaustauschersystems

Ionenaustauscher sind unlösliche Kunststoffe mit dissoziationsfähigen sauren oder basischen funktionellen Gruppen wie Sulfon-, Carbonsäuren bzw. Ammoniumverbindungen[4], an denen entweder Kationen oder Anionen ausgetauscht werden können. Die Ionenaustauschertechnik basiert auf chemischen Verbindungen (Makromolekülen, Harzen), die nach folgendem Prinzip (schematisch) reagieren :

A) Beladungsvorgang an der Drahterodiermaschine = Aufnahme von Metallionen

Kationenaustauscher (KA) (Me = Metallion)

$$\text{-(Harz)--}SO_3\text{ -H } + Me^+ \Rightarrow \text{ -(Harz)--}SO_3\text{ -Me } + H^+$$

Anionenaustauscher (AA) (An = Anion)

$$\text{-(Harz)-NR- OH } + An^- \Rightarrow \text{ -(Harz)--NR- } An^- + OH^-$$

Dieser chemische Vorgang ist reversibel und ermöglicht damit die Regeneration.

B) Regeneriervorgang in der Regenerierstation

Durch Behandlung der Kationenaustauscher (KA) mit Säuren und der Anionenaustauscher (AA) mit Laugen wird der Ausgangszustand hergestellt und die Metalle zunächst in ionogener Form freigesetzt.

Kationenaustauscher (KA) (Me = Metallion)

$$\text{-(Harz)--}SO_3\text{ -Me } + H^+ \Rightarrow \text{ -(Harz)--}SO_3\text{ -H } + Me^+$$

Anionenaustauscher (AA) (An = Anion)

$$\text{-(Harz)-NR-}An^- + OH^- \Rightarrow \text{ - (Harz)-NR-OH } + An^-$$

Die Ionenaustauscherharze liegen in Form von kleinen Kugeln mit einem Durchmesser von 0,2 mm bis ca. 1 mm vor. KA-Harze und AA-Harze unterscheiden sich durch das spezifische Gewicht und können deswegen durch einen Flotationsprozess mit Wasser getrennt werden, was zur Regeneration unbedingt notwendig ist.
Da im Wasser stets Kationen und Anionen in äquivalenten Mengen vorliegen, müssen bei der Entionisierung stets beide Komponenten KA und AA eingesetzt werden (Bild 4 [2]).
Werden die KA mit den AA innig gemischt, spricht man von einem Mischbett (MB) (Bild 5 [2]).
Nach Gebrauch, d.h. zur Regenerierung müssen MB-Harze wieder in AA und KA getrennt werden (Bild 6 [2]). Dieser Vorgang muß für jede verschieden beladene MB-Harzsorte separat durchgeführt werden um die Regeneriermedien (Säuren und Laugen) gemäß dem Projektziel werkstoffspezifisch aufarbeiten zu können (Fe = Eisenmetalle; NE = Nichteisenmetalle; HM = Hartmetalle).

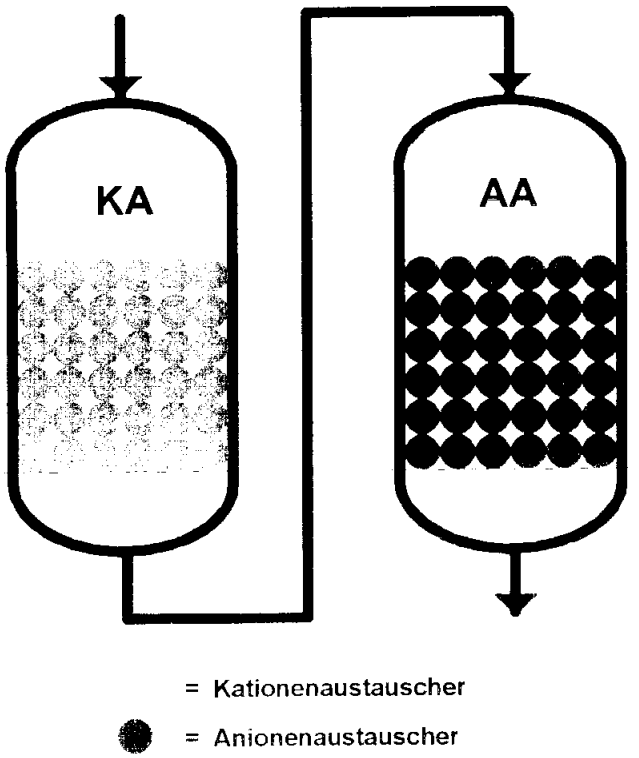


Bild 4 [2] Schemazeichnung
Einzelkolonnen-Ionenaustauscher mit
getrennten Behältern für KA- und AA-Harze

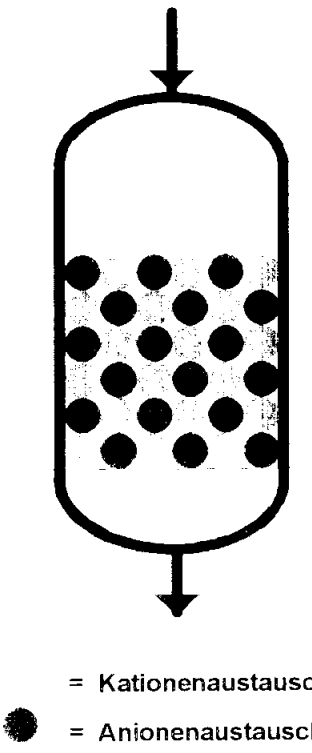


Bild 5 [2] Schemazeichnung
Mischbett-Ionenaustauscher

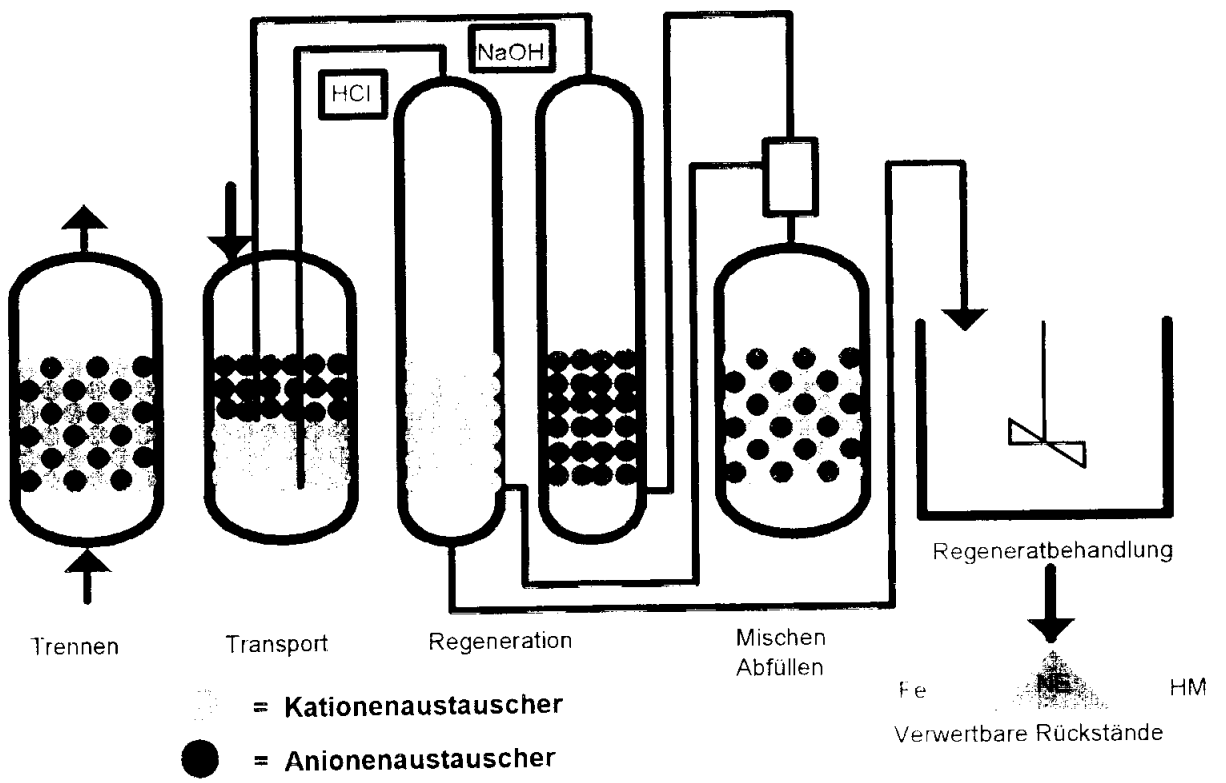


Bild 6 [2] Funktionsschema: Regenerieren von Mischbettionenaustauscherharzen

5. Beschreibung des Projektes

5.1 Ausgangslage

Durch die Weiterverbreitung der Funkenerosionstechnik (vergl. Anlage: Tabelle der verkauften Maschinen in der BRD) werden immer größere Mengen an Ionenaustauscherharzen benötigt. Zusätzlich stellt die Entwicklung immer leistungsfähigerer Drahterodiermaschinen steigende Ansprüche an die Reinheit des eingesetzten DI-Wassers und damit an die erforderlichen Ionenaustauscherkapazitäten. Durch das gestiegene Umweltbewußtsein einerseits und die Beschaffungskosten für neues Einwegharz andererseits wird die Aufbereitung der MB-Harze mit der Rückgewinnung der Metalle und der Wiederverwendung der Ionenaustauscher immer wichtiger.

Zur Abschätzung der Entsorgungsmenge an verbrauchten Ionenaustauscherharzen kann von folgendem Ansatz ausgegangen werden.
Als typische Standzeit von Ionenaustauscherharzen bei einer fertigungsüblichen Auslastung einer Drahterodiermaschine können ca. 4 Wochen zugrunde gelegt werden. Das führt bei einer durchschnittlichen Ionenaustauscherharzmenge von 30 l pro Maschine und bei ca. 9.000 Maschinen (Stand 1995) in Deutschland zu einer Sonderabfallmenge von ca. 3.240 m³/a.
Werden nicht Einwegharze, sondern, wie im Projekt vorgesehen, regenerierbare Mehrwegmischbettharze eingesetzt, so würde sich bei der Regeneration der Harze und anschließender Fällung der Metalle als Hydroxide eine durchschnittliche Entsorgungsmenge von ca. 1.940 jato Metallhydroxidschlamm ergeben (bei 30 % Trockensubstanz).
Ziel des Projektes ist die Kreislaufführung der MB-Harze und die Verwertung der Metalle als Rohstoff.

Für eine wirtschaftliche Aufbereitung der MB-Harze ist ein flächendeckendes und effektives Transport- und Logistiksystem notwendige Voraussetzung. Es müssen deshalb genügend Erodierbetriebe in das System eingebunden werden, um die für die wirtschaftliche Harzregeneration und die Metallrückgewinnung ausreichende, kontinuierlich anfallende MB-Harzmenge zu sichern.

Um den Verwertern nach Metallarten getrennte Schlämme anbieten zu können, müssen die Betreiber von Drahterodiermaschinen in die Lage versetzt werden, das benötigte DI-Wasser getrennt nach Metallarten zu entionisieren, d.h. gegebenenfalls über verschiedene, werkstoffspezifische Ionenaustauscherpatronen zu führen. Dies setzt voraus, daß entweder an den einzelnen Drahterodiermaschinen jeweils immer die gleichen Materialien bearbeitet werden oder, wenn auf einer Maschine verschiedene Materialien bearbeitet werden sollen (was in vielen Betrieben der Fall ist), bei jedem Materialwechsel eine Umschaltung auf eine werkstoffspezifische Ionenaustauscherpatrone oder ein Patronenwechsel erfolgt (Bild 7 [2)]).

Wünschenswert wäre dafür eine automatische Umschaltung durch Materialidentifikation über die Bearbeitungsparameter beim Erodieren. Eine automatische Umschaltung dürfte nach den ersten Erfahrungen mit Pilotbetrieben jedoch nur für zukünftige Modelle der Erodiermaschinen in Frage kommen, da die Nachrüstung bestehender Anlagen wegen der fehlenden elektronischen Materialidentifikation zu aufwendig ist.

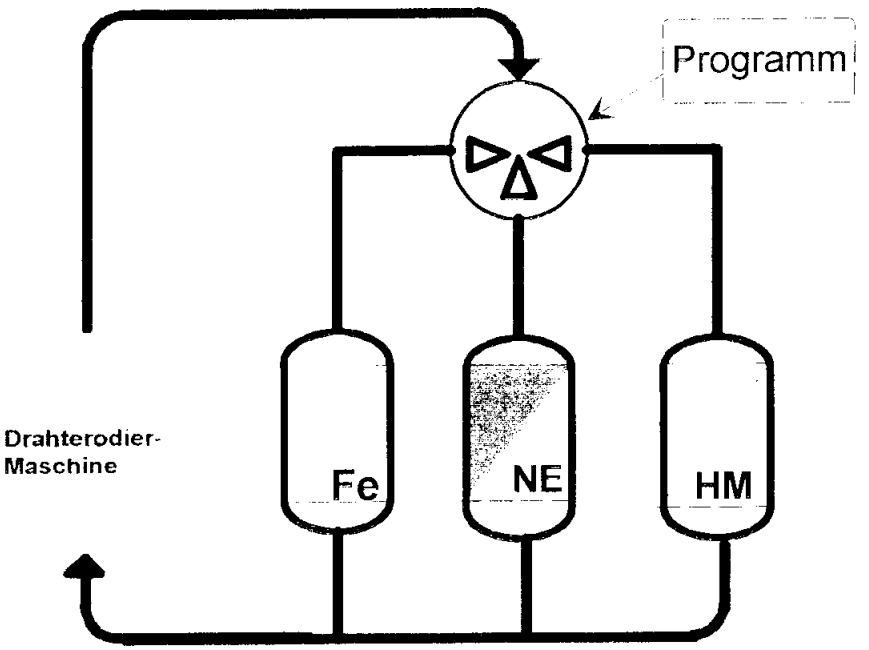


Bild 7 [2)] Deionisieren bei unterschiedlichen Werkstoffgruppen
Fe = Eisenmetalle; NE = Nichteisenmetalle; HM = Hartmetalle

Tatsächlich ist jedoch eine strikte Trennung entsprechend den erzeugten Metallionen bei der Aufbereitung des Dielektrikums (DI-Wassers) in der Maschine auch bei einem automatisierten Umschaltprozess ohne eine prinzipielle Änderung der Erodiermaschinen nicht möglich, da über den Vorratstank für verschmutztes Wasser immer eine Rückvermischung und damit eine Verschleppung der Metallionen gegeben ist und zudem durch den Metallabtrag am Schneidedraht immer auch Buntmetall (Kupfer und Zink) gelöst und in das Dielektrikum eingetragen werden (vergl. Bild 8).

In der betrieblichen Praxis wird jedoch die Wechselhäufigkeit von z.B. Stahl als bearbeitetem Werkstoff nach Hartmetall oder umgekehrt durch Fertigungsabläufe begrenzt, denn außer den Harzpatronen müssen dann auch immer die Maschinenparameter neu eingegeben werden, so daß auch aus diesem Grund nicht unnötig häufig gewechselt wird. Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, daß trotz der Verschleppungen die Annahmekriterien der Wiederaufarbeiter erreicht werden können.

5.2 Werkstoffspezifische Erfassung und Transport von Mischbettharz

Dem Betreiber von Drahterodiermaschinen müssen Mischbettionenaustauscherpatronen zur Verfügung gestellt werden, die materialspezifisch, also möglichst nur mit Ionen einer Werkstoffgruppe beladen werden (siehe oben).

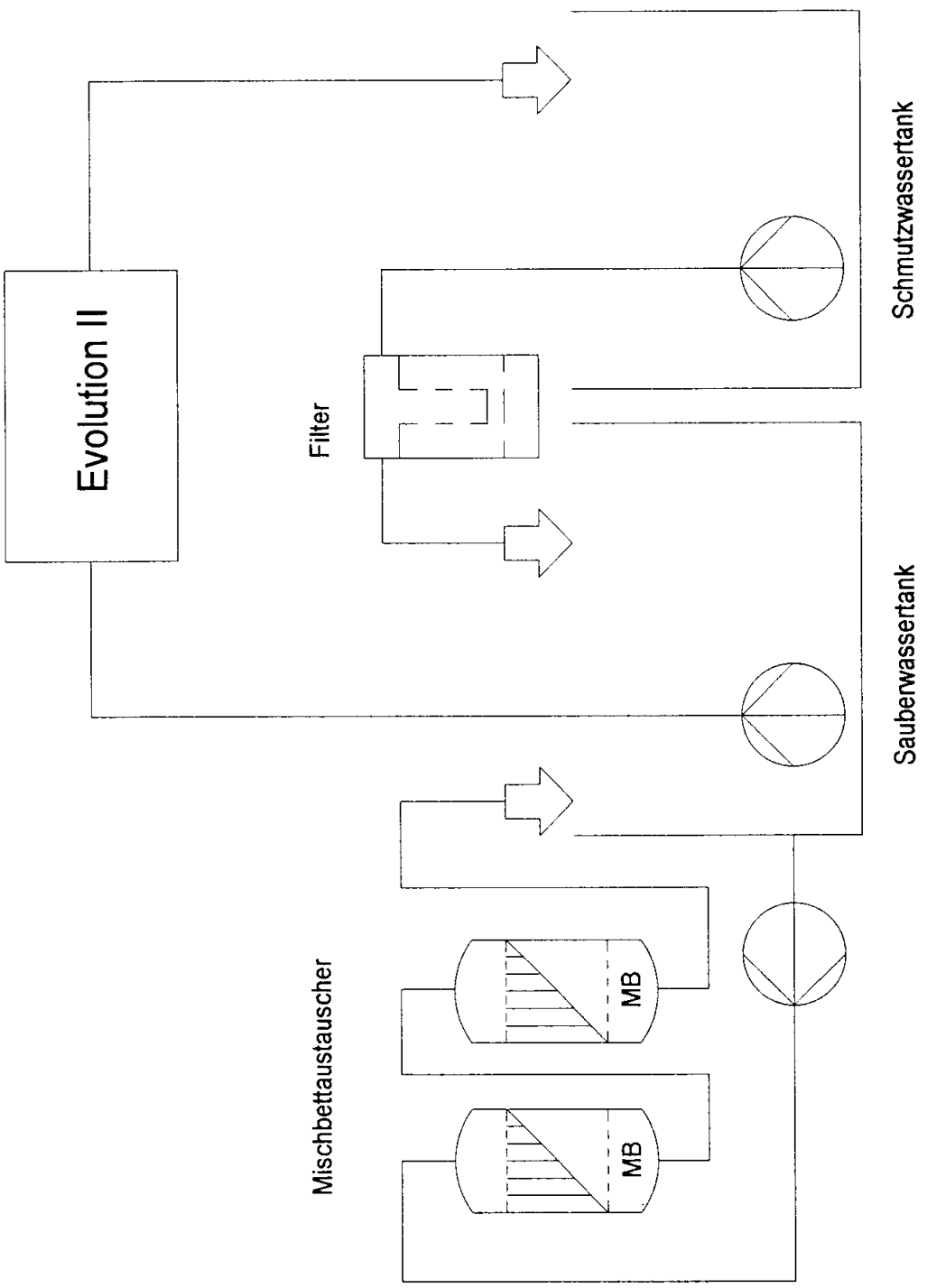


Bild 8 Schematische Wasserführung bei einer modernen Drahterodiermaschine (Abb. UT&S)

Damit eine materialspezifische Beladung der Ionenaustauscherpatronen bis zur Regeneration erkennbar bleibt, werden diese Patronen optisch für den Betreiber gekennzeichnet.

Folgende Daten werden auf jeder Harzpatrone mitgeführt:
(vergl. Bild 9)

Farbe des Etiketts :
grün = Austauscherbehälter gehört dem Kunden
rot = Leihpatrone, Eigentum von UT&S
- Name des Kunden
- Standort
- Identifizierungsnummer (8 - stellig)
- Harztyp
- Datum der Erstauslieferung

Bei Pilotbetrieben wurden die Patronen ergänzend mit einer Standzeittabelle ausgeliefert.

Der Kunde trägt dann jeweils das

- Ein- und Ausbaudatum,
- die Betriebsstunden,
- das bearbeitete Material und
- den Beladungszustand über die elektrische Leitfähigkeit des Prozesswassers beim Patronentausch ein.

Mit diesen Daten lassen sich evtl. auftretende Kapazitätsänderungen und damit eine einhergehende Verblockung der Harze - auch über einen längeren Zeitraum hinweg - beobachten und erfassen (vergl. Abb. 16 und 17).
Nach Abschluß der Erprobungsphase wurden die Stammdaten in einen Barcode übertragen, der an jeder Harzpatrone maschinell (automatisch) lesbar angebracht ist. Damit wurde eine vollständige, kundenbezogene, technische und kaufmännische Datenerfassung ermöglicht, die deutlich kostengünstiger ist, als das bisherige Verfahren und zugleich eine höhere Sicherheit bei der Aufbereitung und Regenerierung der Harze sicherstellt.

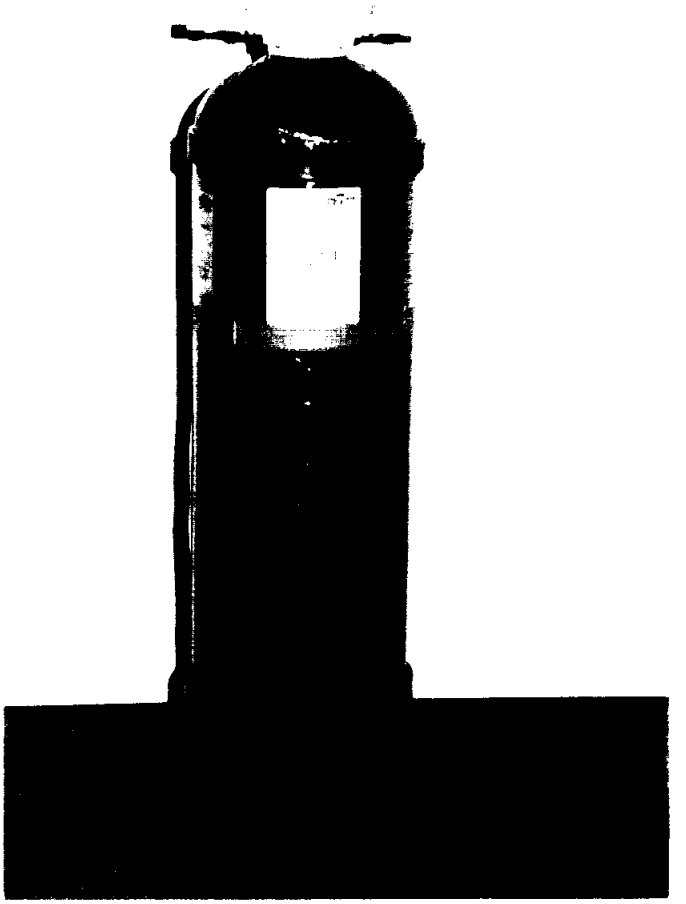


Bild 9 IA-Harzpatrone 30 l anschlußfertig

5.3 Kurzbeschreibung des Betriebes und der neuen Regenerations- und Abwasserbehandlungsanlage

Die Firma UT&S Umwelttechnik und Service GmbH & Co. KG, verfügt über langjährige Erfahrungen in der zentralen Regenerierung von Ionenaustauscherharzen von Anwendern ohne eigene Regeneriermöglichkeit (REMA-System). Dabei wird über mobile Ionenaustauscherkassetten kleineren und mittleren Unternehmen (z.B. Galvanikbetrieben, Leiterplattenherstellern) eine ordnungsgemäße Aufbereitung ihrer metallbelasteten Abwässer ohne eigene Abwasseraufbereitungsanlage ermöglicht. Bei diesem Verfahren können jedoch nur getrennte Kationenharze oder Anionenharze regeneriert werden. Das REMA-System bietet bisher nicht die Regeneration von Mischbettharzen an.
Schon bei diesem System wurden die mit unterschiedlichen Schwermetallen beladenen Ionenaustauscherkassetten selektiv regeneriert und das anfallende Regenerat in getrennten Abwasserlinien mit dem Ziel aufbereitet, verwertbare Metallhydroxidschlämme zu produzieren (detaillierter Aufstellungsplan in der Anlage).

Durch die Erfahrungen mit dieser Anlage sind sehr gute fachliche und organisatorische Voraussetzungen gegeben, das erforderliche getrennte Handling der Harze und die kundenspezifische Regenerierung und Logistik von Anfang an sicher umzusetzen.

5.4 Aufbereitungsanlage für Mischbettharze

Im Harzaufbereitungsbereich ist eine strikte Trennung zwischen Mischbett- und REMA-Anlagentechnik realisiert. Die verschieden beladenen Harzsorten fallen in unterschiedlichen Mengen in Relation zu den bearbeiteten Werkstoffgruppen an.
Der Anteil an Fe-haltigen Harzen beträgt zwischen 80 % - 85 %, der mit Hartmetall beladene Harzanteil liegt bei ca. 10 % - 15 %, der Harzanteil aus der Buntmetallbearbeitung bei ca. 5 %.
Zur Erzielung verwertbarer Metallhydroxidschlämme ist ein nach Metallarten getrennter Anlagenaufbau realisiert worden.
Die Regenerierstationen sind für die 3 Abwasser- und Metallschlammlinien "Hartmetall", "Eisenwerkstoffe - Stahl" und "NE - Metalle" ausgelegt (Bild 11, 12, 13, 14, 15), jeweils getrennt für Laugen- und Säureregeneration. Es sind 6 Mischbettregeneriersäulen installiert, als Anordnung mit jeweils 3 Anionen- und 3 Kationenregeneriersäulen. Die Regeneratspeicher sind nach Inhaltsstoffen getrennt bezeichnet.
Die Trennreaktoren bestehen aus gummiertem Stahl mit Sichtfenstern sowie jeweils 3 Absauglanzen zum Entnehmen der getrennten MB-Chargen.

Grundprinzip der Neuinstallation der Harzaufbereitung ist eine Verwendung von möglichst identischen Bauelementen wie Pumpen, Ventilen, Signalgebern etc., um eine kostengünstige Ersatzteilhaltung und schnelle Störungsbeseitigung zu gewährleisten. Bei wichtigen Positionen sind Pumpen redundant geschaltet.

Dasselbe Prinzip gilt für die EDV-geführten Bedienstationen. Es wurden insgesamt 5 Bildschirmbedienstationen den jeweiligen Prozessgruppen zugeordnet. Die Behandlungszyklen können über eine menügeführte Programmabfolge automatisch gesteuert werden.

Durch die neue Anlagenkonzeption konnten folgende Vorteile realisiert werden :

- Zur Wasserersparnis wird das Trennwasser aufgefangen, in einem Auffangbehälter zwischengelagert und zum Trennen von weiteren Chargen wiederverwendet.
- Durch die genau gesteuerte Regenerationstechnik ist jetzt nur noch ein ca. 3-facher Überschuß an Regeneriermittel (Säure, Lauge) notwendig, während in der "alten" Anlage noch ein bis zu 6,25-facher Überschuß zur Regeneration erforderlich war.
- Als weitere Stufe zur Reduzierung des Chemikalienverbrauchs, und damit zur Verringerung der Abwassermenge und zur Kostenersparnis, wird seit Nov. 1997 die Regeneriersäure der Schlußregeneration aufgefangen und nochmals zur Vorregeneration von neu angeliefertem, hochbeladenem Harz eingesetzt.

In der Regenerierstation für den Bereich der Mischbettregeneration sind 3 separate MB-Stapelbehälter mit je 1.000 l Inhalt (Bild 12) und zugehörig je eine Trennkolonne in Betrieb. Diese Trennkolonnen für hartmetall- und für eisenhaltige Ionenaustauscherharze haben je eine Kapazität von 300 l, die Trennkolonne für nichteisenmetallige Harze eine Kapazität von 150 l Harz (Bild 13).
Nach dem Trennen werden die Kationen- und Anionenaustauscherchargen in separate Regenerierbehälter eingefüllt und an die Regenerierstation angedockt (Bild 14).

Typischer Ablauf der Regeneration von beladenem Mischbett-Harz:

- Eingangskontrolle
- Zwischenlagerung in Stapelbehältern
- Befüllen des Trennreaktors mit beladenem Mischbettharz
- Trennen von Kationen- und Anionenharz über die Unterschiede im spezifischen Gewicht der beiden Harztypen durch aufströmendes Wasser, das zur Wasserersparnis in einem Auffangbehälter zwischengelagert und wiederverwendet wird
- Separates Entnehmen der getrennten Harzfraktionen Kationen- und Anionenharz über Sauglanzen mit definierten Eintauchlängen
- Einfüllen der getrennten Harzchargen in die Kationen- bzw. Anionenregenerierbehälter
- Paralleles Regenerieren der KA- und AN-Harze getrennt in Chargen zu je 140 - 160 l
- Durch die genau gesteuerte Regenerationstechnik ist nur noch ein ca. 3-facher Überschuß an Regeneriermittel notwendig, während in der "alten" Anlage teilweise noch ein bis zu 6,25-facher Überschuß zur Regeneration erforderlich war.
- Prüfung der erzielten Austauscherkapazität, ggf. Nachregeneration der betroffenen Charge bei unbefriedigendem Ergebnis
- Mischen von Anionen- und Kationenharzen in äquivalenten Mengen
- Abfüllen in Patronen bzw. firmeneigenen Behältnissen
- Entnahme eines Rückstellmusters zur Qualitätsdokumentation
- Kommissionierung und Versand

Regeneratbehandlung :

Die Regenerate (Säuren) der einzelnen Linien aus der KA-Regenerierung werden werkstoffspezifisch behandelt.

- Überführung (Umpumpen) vom Regeneratbehälter in den jeweiligen Vorlagebehälter
- Neutralisation / Fällung
- Filtration (Schlammentwässerung) der kompletten Fällungscharge in selektiven Kammerfilterpressen
- Zwischenlagerung der Filterschlämme im Schlammspeicher zur getrennten Verwertung
- Prüfung des behandelten Abwassers auf Einhaltung der Grenzwerte und Abgabe in die Kanalisation

5.5 Analytik und Qualitätssicherung

Zur laufenden Überprüfung der Qualität der regenerierten MB-Harzchargen wird ein intern entwickelter Kapazitätstest für jede Charge durchgeführt. Das Ergebnis wird dokumentiert und dient als Qualitätssicherung sowie als Nachweis bei evtl. Kundenreklamationen.

Erläuterungen zum Kapazitätstest:
Im Kapazitätstest wird die NVK (Nutzbare-Volumen-Kapazität) ermittelt. Dabei wird eine Untersuchung der Einzelkapazitäten der KA und AA vorgenommen. Die NVK ist die in der Praxis zur Verfügung stehende Aufnahmekapazität des Harzes für Ionen und unterscheidet sich zur theoretischen Kapazität. Die Soll-Kapazität von 100% ist eine angestrebte Größe, die geringfügig unter- oder überschritten werden kann. Bei Unterschreitung von mehr als 10 % erfolgt eine Wiederholung der Regeneration.
Nach der Regeneration wird von jeder ausgelieferten Charge eine Rückstellprobe einbehalten.

Der Laborbereich wurde mit einem Photometer ausgestattet, so daß die wichtigsten (Metall) Kationen- und Anionenwerte nunmehr vom eigenen Personal kurzfristig für die Eingangsprüfung, Qualitätssicherung und Grenzwertprüfung (im Abwasser) bestimmt werden können.

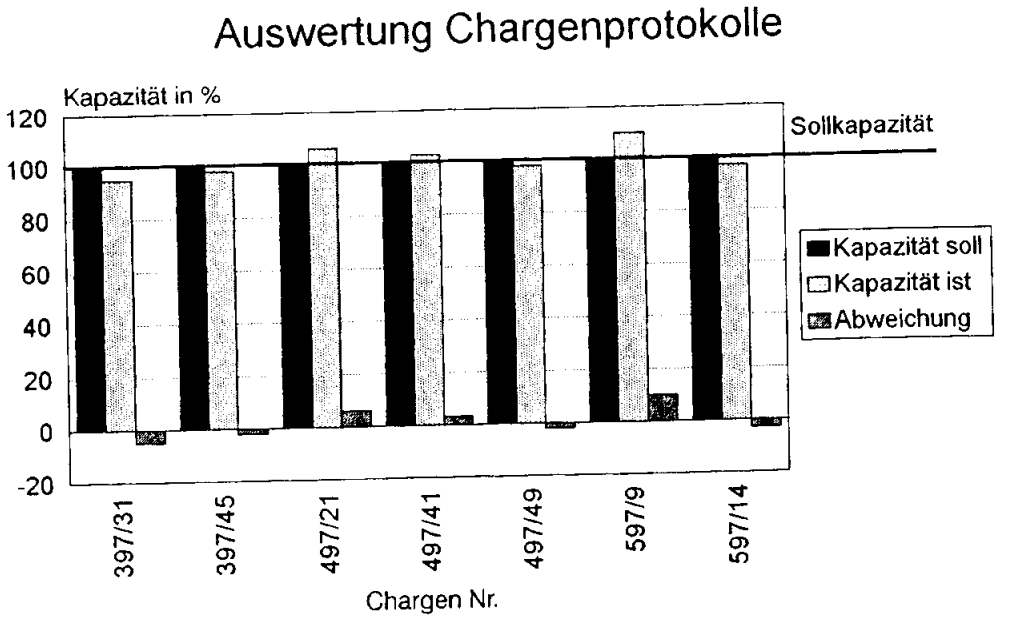


Bild 10 Auswertung von Chargenprotokollen

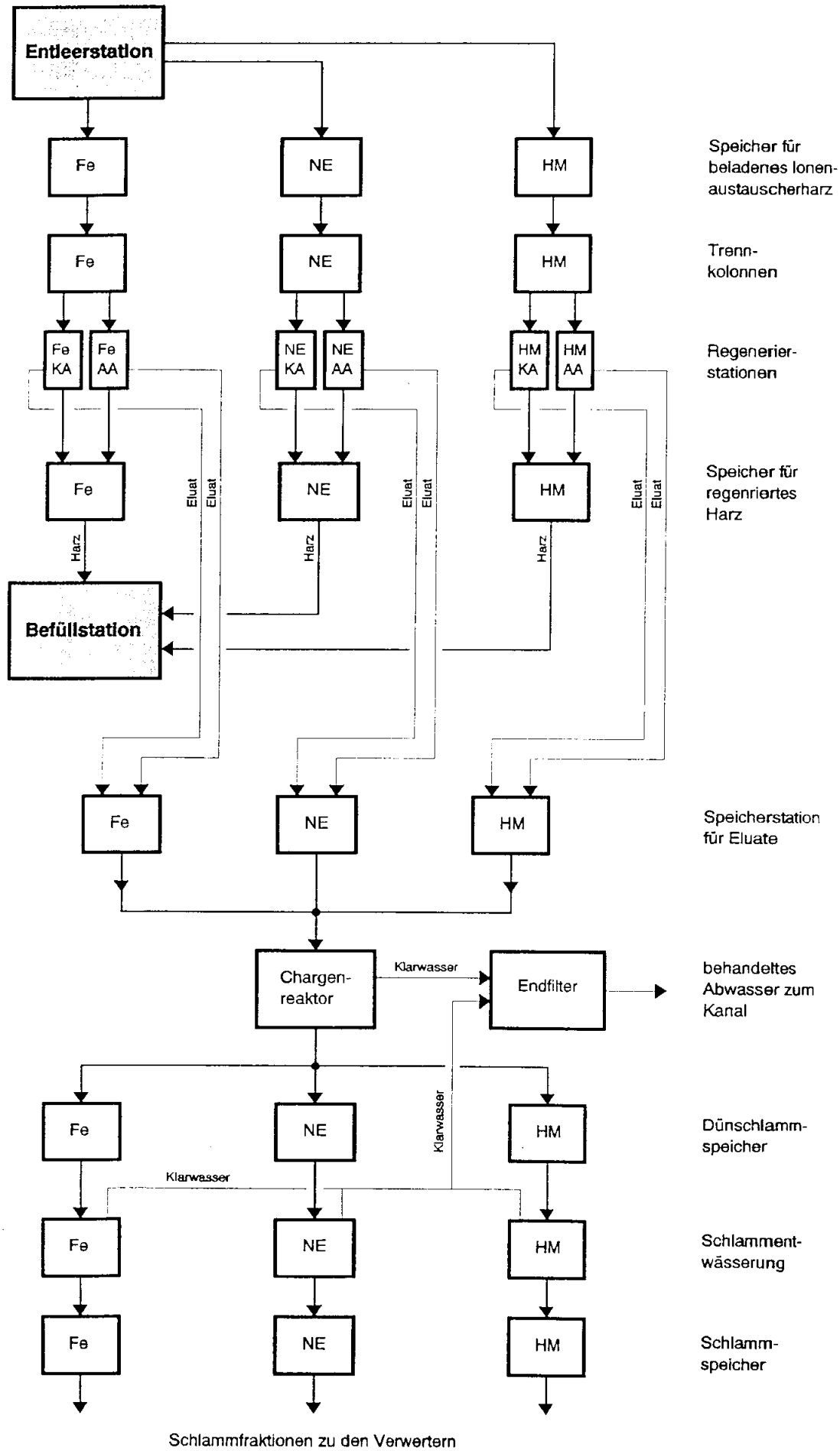


Bild 11 Blockschema zur Harztrennung und –aufbereitung

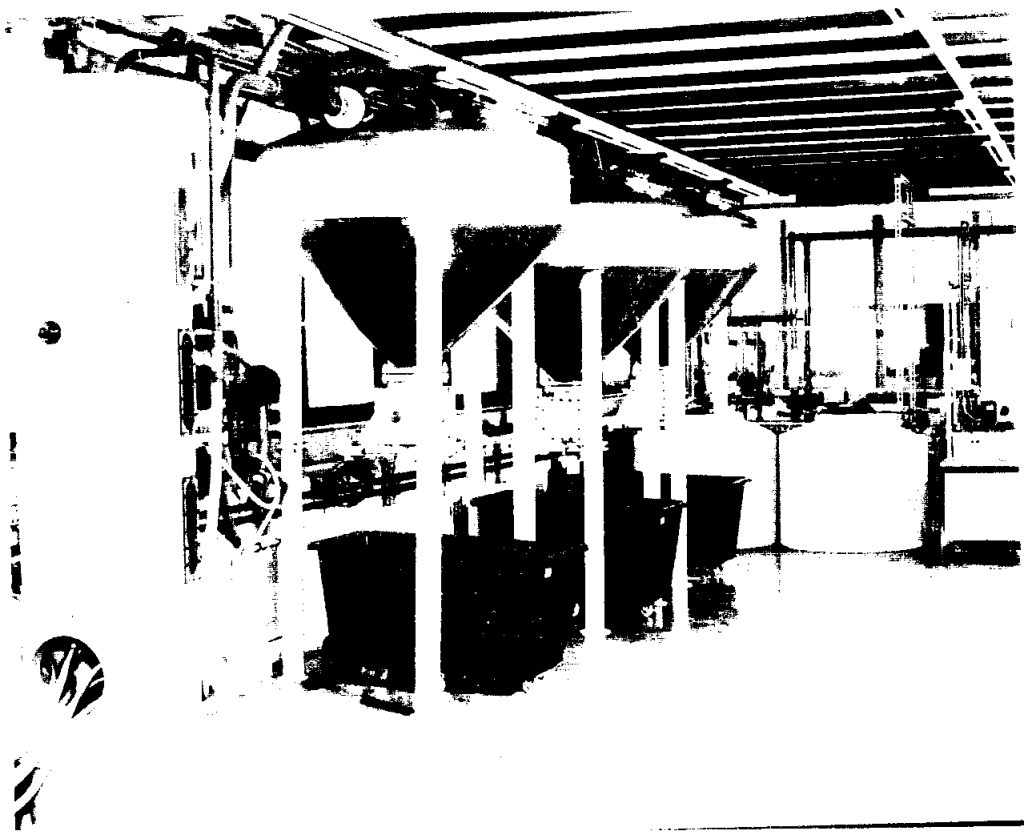


Bild 12 Stapelbehälter für beladenes Ionenaustauscherharz (3 Linien)

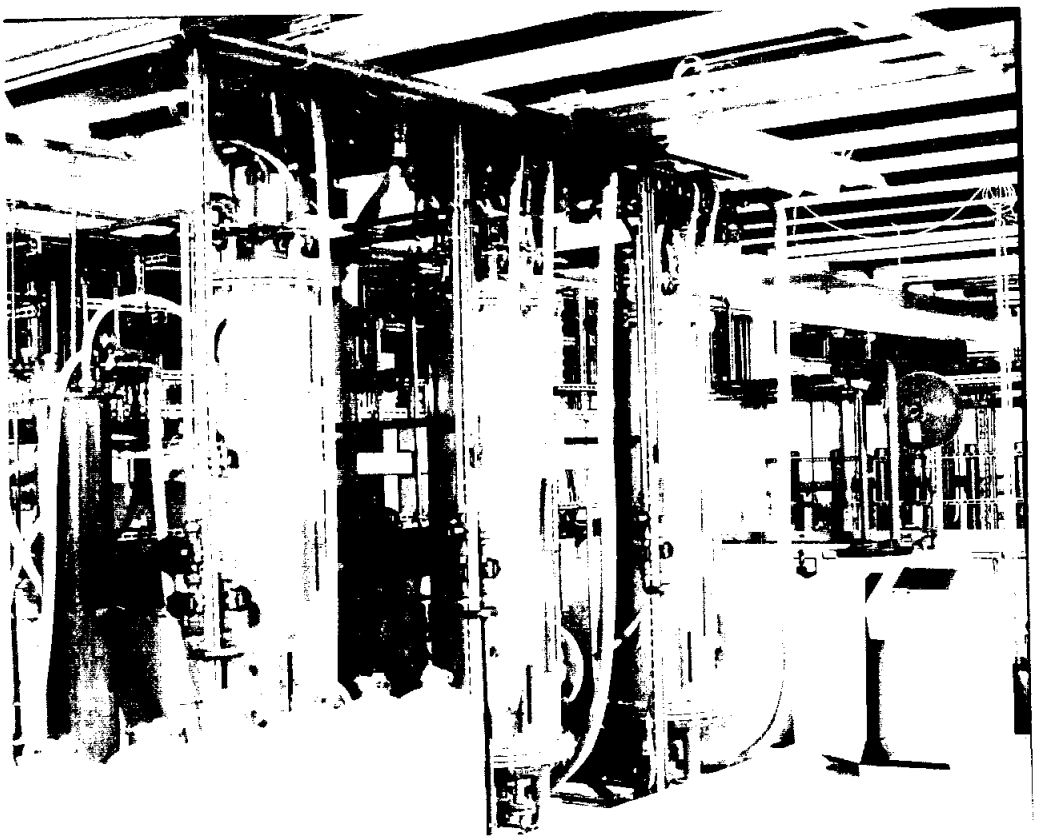


Bild 13 Trennkolonnen für beladenes Ionenaustauscherharz (3 Linien)

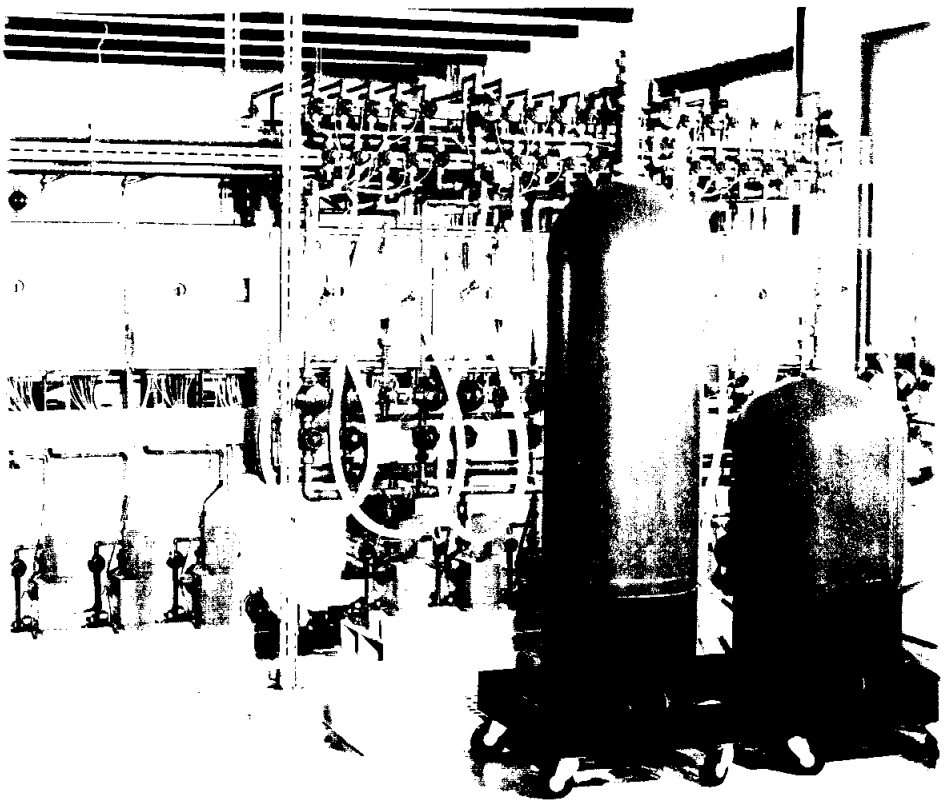


Bild 14 Regenerierstationen für Kationen- und Anionenharz

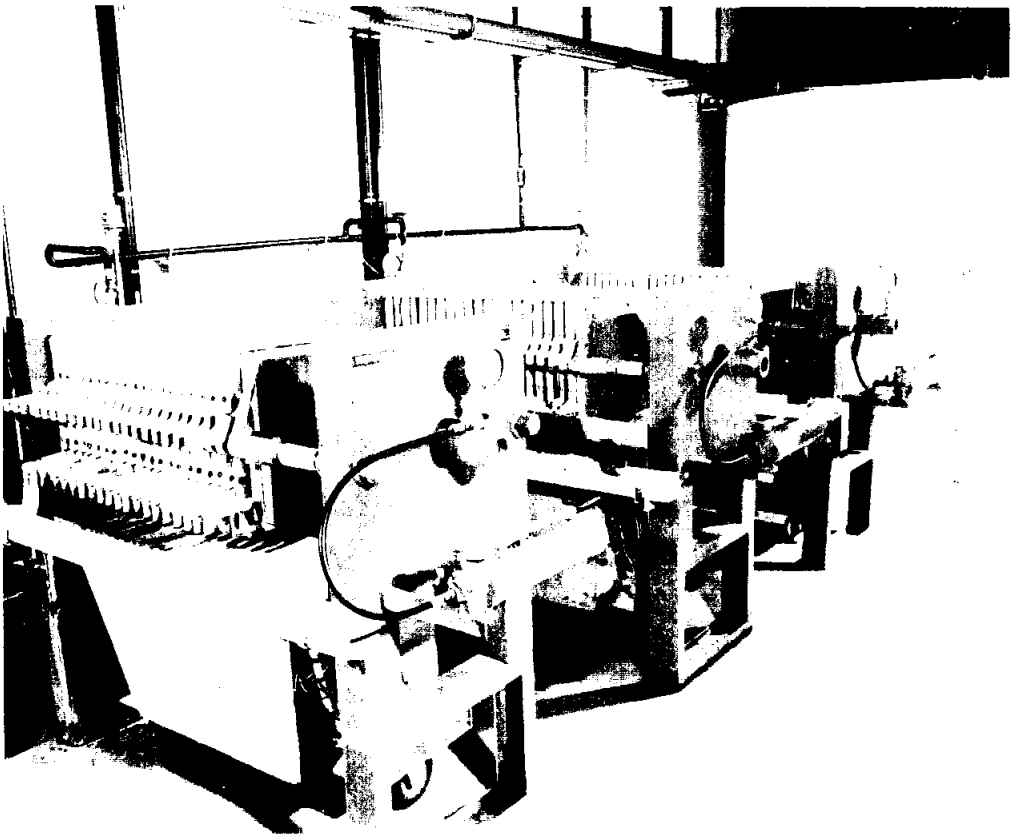


Bild 15 Kammerfilterpressen für Hartmetall-, Fe- und NE- haltige Schlämme

6. Einsatz von regenerierten Mischbettharzen in Pilotbetrieben

Kundenstruktur und Produktspektrum

Die bisher gewonnenen Neukunden wie auch die Pilotbetriebe entsprechen mit ihrer Struktur und Betriebsgröße der typischen Verteilung in Baden-Württemberg mit vielen klein- und mittelständischen Betrieben:

bis 20 Mitarbeiter	35
20 bis 500 Mitarbeiter	85
über 500 Mitarbeiter	10
Neukunden und Pilotbetriebe gesamt:	130

Das gefertigte Produktspektrum umfaßt Hartmetall- und Stahlwerkzeuge sehr häufig zur Stanzbearbeitung, Kleinserien für Bauteile aus Stahl und Messing sowie Prototyp- und Vorserienelemente, die überwiegend in der Maschinenbau- und Elektroindustrie eingesetzt werden.

Durch die Einbeziehung der Pilotkunden sollten möglichst kurzfristig breite Erfahrungen bezüglich Einsatz und Aufarbeitung der regenerierbaren Mischbettionenaustauscherharze gewonnen werden. Zur Motivation wurden den Pilotbetrieben daher die Harzpatronen kostenlos zur Verfügung gestellt.

6.1 Einführung und Kapazitätsbewertung

Bei vielen Kunden war für das Wechselsystem mit regenerierbarem Harz teilweise erhebliche Überzeugungsarbeit zu leisten, weil ihnen Erfahrungswerte über das Standzeitverhalten des bisher verwendeten Einwegharzes fehlten und so nur ein subjektiver, oft sehr skeptischer Vergleich des neuen Produktes gegenüber dem bisher verwendeten Einwegharz möglich war.
Generell ist es sicher richtig, daß ein regeneriertes Harz in aller Regel nicht genau die gleiche Kapazität erreicht wie ein neu hergestelltes, noch nie im Einsatz gewesenes. In Abhängigkeit von der Dauer und Art der Regeneration werden nur ca. 80 % – 90 % der "jungfräulichen" Kapazität erreicht. Die Erfahrung aus dem Einsatz bei Pilotkunden haben gezeigt, daß diese Kapazitätsminderung jedoch bei weitem durch den Einfluß der Betriebsparameter der Drahterodiermaschine und des bearbeiteten Werkstoffs überkompensiert wird.

Hierzu konnten bei den Pilotbetrieben gut verwertbare Informationen gewonnen werden (siehe Anlage: Erhebungsbogen). Bei alleiniger Bearbeitung von Hartmetall auf einer Maschine beträgt die Standzeit für eine Mischbettharzpatrone mit 30 l Inhalt ca. 220 bis 300 Betriebsstunden. Bei alleiniger Bearbeitung von Stahl auf derselben Maschine werden dagegen Standzeiten von 520 bis 770 Betriebsstunden erreicht. Die große Schwankungsbreite kommt dadurch zustande, daß teilweise bei gleichem Werkstoff verschiedene Schneiddrahtdurchmesser eingesetzt, bzw. unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben wie Grobschnitt oder Feinschnitt durchgeführt werden. Dadurch wird je Betriebsstunde unterschiedlich viel Material abgetragen und geht prozentual in Lösung.

Wie sehr diese Harzstandzeit an ein und derselben Maschine variieren kann, zeigen die nachstehenden Diagramme (Bild 16 und 17). Nach jedem Wechsel der Patronen wurde die erreichte Betriebsstundenzahl aufgezeichnet. Es zeigt sich, daß im günstigsten Fall eine Standzeit der Harzpatrone von nahezu 600 Betriebsstunden erreicht werden kann (alleinige Bearbeitung von Edelstahl bei überwiegender Feinschnittechnik) gegenüber nur annähernd 100 Betriebsstunden bei fast ausschließlicher Bearbeitung von Hartmetall, überwiegend mit hoher Schnittgeschwindigkeit. Auch das Diagramm (Bild 17) mit Harzstandzeit 2 zeigt eine charakteristische Standzeitkurve für das regenerierbare Mischbettharz, wobei diese Kurve von einer anderen Maschine stammt.
Eine generelle Aussage über die Standzeit der Ionenaustauscherpatronen bezüglich der Betriebsstunden läßt sich mit einer gewissen Genauigkeit nur für einen speziellen Maschinentyp bei einheitlichen Schnittbedingungen und gleichem Werkstoff angeben. Bei der üblicherweise häufig wechselnden Beaufschlagung der Maschinen läßt sich beim regenerierbaren Harz genausowenig eine exakte Standzeit vorgeben wie für Einwegharze.

6.2 Einsatzerfahrungen bei Pilotbetrieben (Anwendern)

Nicht alle Anwender oder Neukunden beziehen das MB-Harz bisher in den angebotenen Standardpatronen mit 18 l bzw. 30 l Inhalt. Etwa 10 % der aktuell belieferten Firmen beziehen das Harz als Faßware und stellen das beladene Harz ebenfalls in Kunststofffässern zur Abholung bereit. Bei diesen Firmen wird in aller Regel die Arbeitszeit zum Befüllen und Entleeren der Ionenaustauschergefäße nicht in die Kostenkalkulation mit aufgenommen, da die Arbeitszeit nicht für andere Arbeiten genutzt werden kann.

Mehrere Betriebe haben bei Parallelversuchen mit Harz in Leihpatronen gegenüber dem bisherigen System jedoch die Erfahrung gesammelt, daß die Kapazität des offen gelieferten Harzes wegen offensichtlicher Randgängigkeit der dabei verwendeten Harzbehälter und Kanalbildung in der Harzschüttung verringert ist. Der Einsatz von Standardharzpatronen kann wegen der meist gleichmäßigeren Ausnutzung eine merkbare Ersparnis an Regenerierungskosten ermöglichen.

Angebliche Korrosionsprobleme

Bei manchen Anwendern sind Korrosionsprobleme aufgetreten. Um sicherzustellen, daß das MB-Harz nicht Verursacher ist, wurden spezielle Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie und EDX-Elementanalyse durchgeführt. Wie die Bilder 18 u. 19 deutlich zeigen, ist das angeblich korrodierte Maschinenteil nicht oxidiert, sondern weist einen Belag auf, der sich bei der Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop ganz eindeutig nicht als Korrosionsprodukt des Bauteils (Neusilber mit den Hauptbestandteilen Nickel (Ni) und Kupfer (Cu), s. Bild 19) herausgestellt hat. Über EDX-Analyse wurde dieser Belag eindeutig als Ablagerungsprodukt des Schneidedrahtes mit den Hauptbestandteilen (Cu mit Zn; Bild 20) identifiziert.
Die Ursache für diese Ablagerung dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit in der langen Standzeit des Dielektrikums von mehr als einem Jahr ohne Reinigung der Drahterodiermaschine gegeben sein.

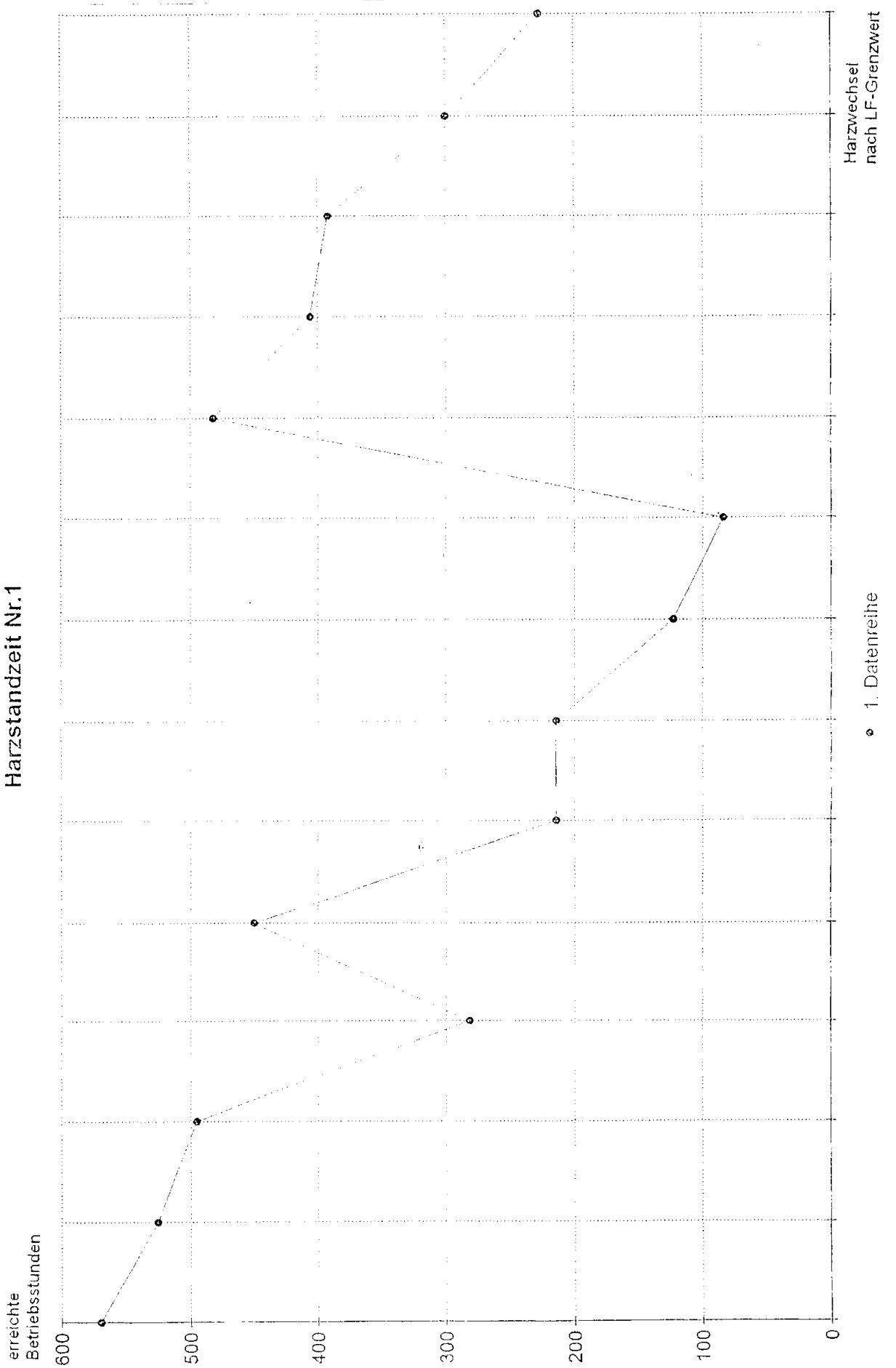


Bild 16 Harzstandzeit (Maschine1) als Funktion der Laufzeit in Betriebstunden
Bearbeitung von HM, überwiegend Feinschnitt

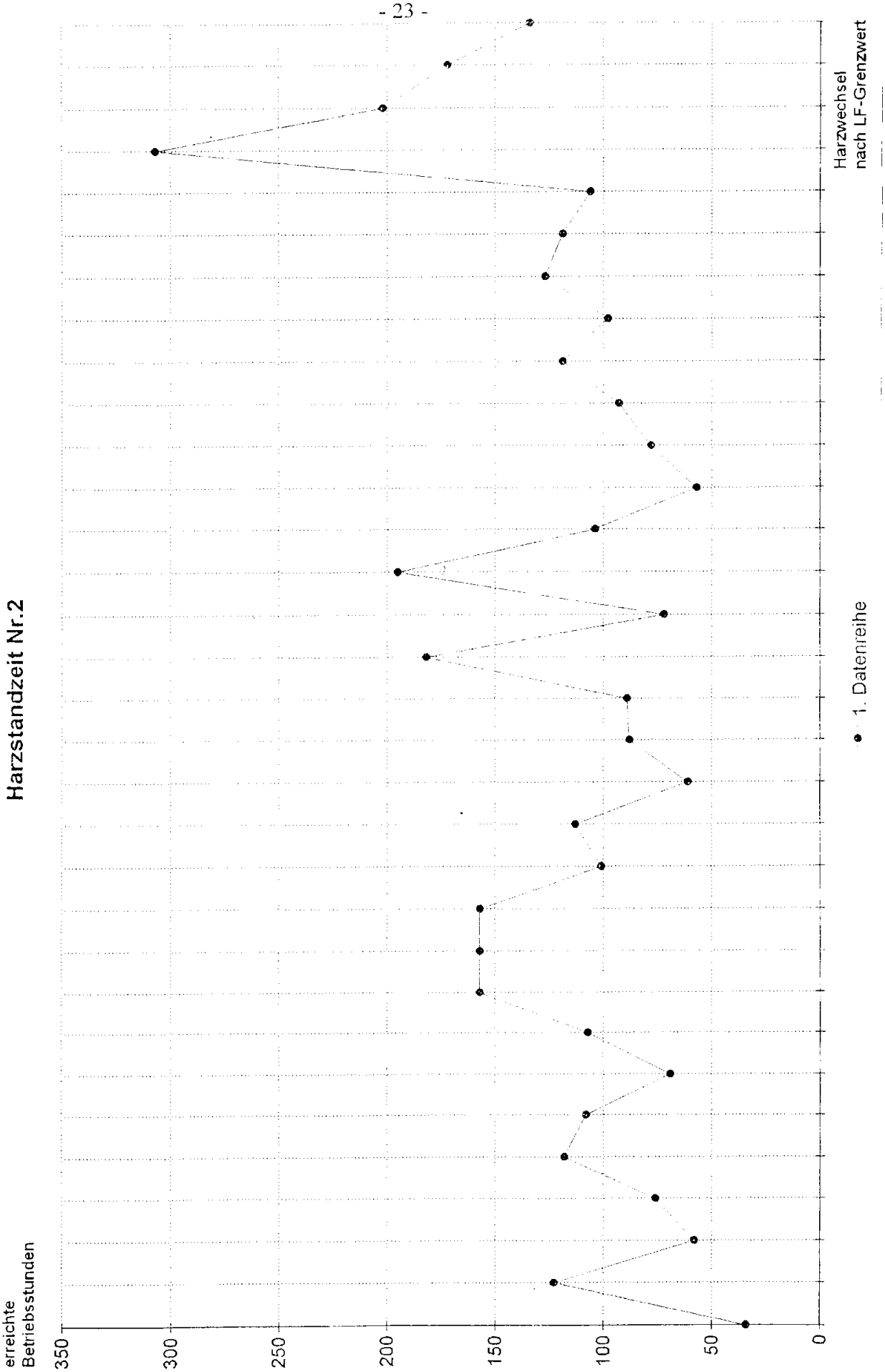


Bild 17 Harzstandzeit (Maschine 2) als Funktion der Laufzeit in Betriebstunden
Bearbeitung von Stahl, hohe Schnittgeschwindigkeit

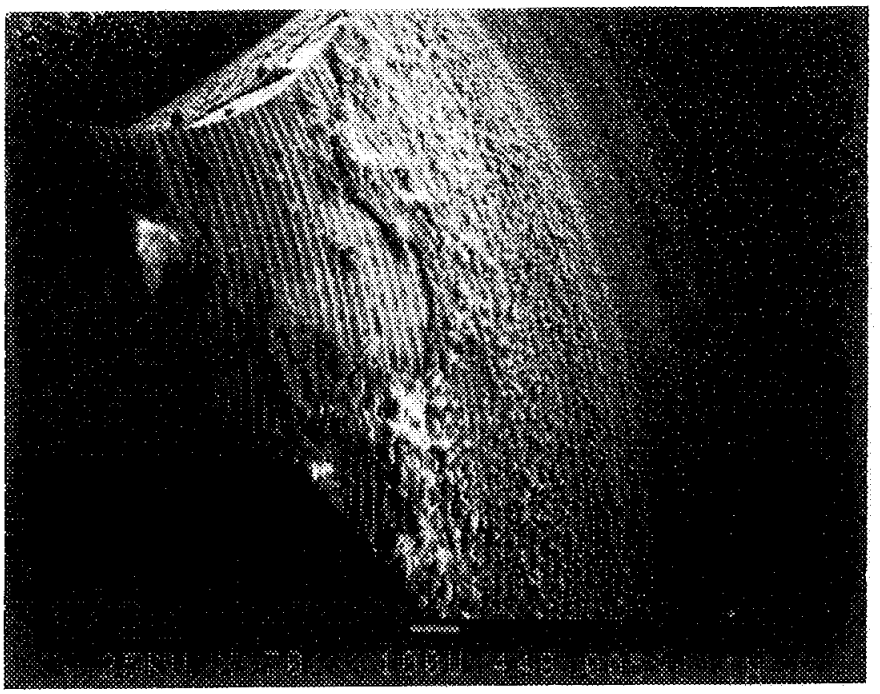
Anwendung von Korrosioninhibitoren

Korrosionsinhibitoren werden bei der Drahterodiertechnik zeitweilig vor der Bearbeitung auf das Bauteil gegeben oder auch dem Dielektrikum beigemischt. Dabei handelt es sich in der Regel um Kohlenwasserstoffprodukte, die über das DI-Wasser dann auf das MB-Harz gelangen, auf dem Harz einen Film bilden und so den Austausch der Ionen sowohl bei der Aufnahme während des Erodierens wie besonders auch bei der nachfolgenden Regeneration behindern. Dieser Film läßt sich zwar beim Regenerieren ablösen, jedoch kann beim Kunden der subjektive Eindruck entstehen, daß die Kapazität des Harzes verringert sei.
Eine insgesamt günstigere Lösung des Korrosionsproblems bei den Werkstücken konnte bei verschiedenen Pilotbetrieben in Versuchen dadurch erreicht werden, daß beim Drahterodierprozess selbst keine Korrosionsschutzmittel verwendet werden, sondern das Werkstück unmittelbar nach der Bearbeitung trockengeblasen und nur bei sehr korrosionsanfälligen Werkstoffen ein Korrosionsschutzmittel aufgesprüht wird.

7. Verwertung der Regenerierschlämme

Die anfallenden Metallhydroxidschlämme aus der Aufarbeitung der Regenerate (Säuren) sind nach LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) und EAK (Europäischer Abfallartenkatalog) als besonders überwachungsbedürftig eingestuft (vergl. Tabelle[2)] in der Anlage). Sie sollen entsprechend der Zielsetzung des Projekts einer stofflichen Verwertung über sekundärmetallurgische Prozesse zugeführt werden.
Die Schlammanalysen haben ergeben, daß alle Schlämme einen erheblichen Zinkanteil aufweisen. Dies läßt sich darauf zurückführen, daß beim Einsatz verzinkter Schneiddrähte ein erheblicher Zinkabtrag erfolgt.
Die Analyse eines solchen Schlammes mit einem Wassergehalt von 84,4 % zeigt folgende Zusammensetzung (Metalle bezogen auf Trockenmasse; die Differenz zu 100 % ergibt sich aus dem Anionenanteil, überwiegend Hydroxide):
Cu 15 %, Pb 1 %, Zn 20 %, Fe 3 %, Ni 1 %, Cl 5 %, S 2 %, CaO 5 %, SiO_2 1 %.
Die eisen- und hartmetallhaltigen Hydroxidschlämme werden derzeit durch die Nickelhütte Aue GmbH pyrometallurgisch aufgearbeitet. Die Aufarbeitungskosten betragen zwischen 390 DM/t und 410 DM/t.

Die buntmetallhaltigen Schlämme werden von den Hüttenwerke Kayser AG zu einem Preis von ca. 300 DM/t gemäß nachstehendem Verarbeitungsgang wiederaufgearbeitet (Bild 21).



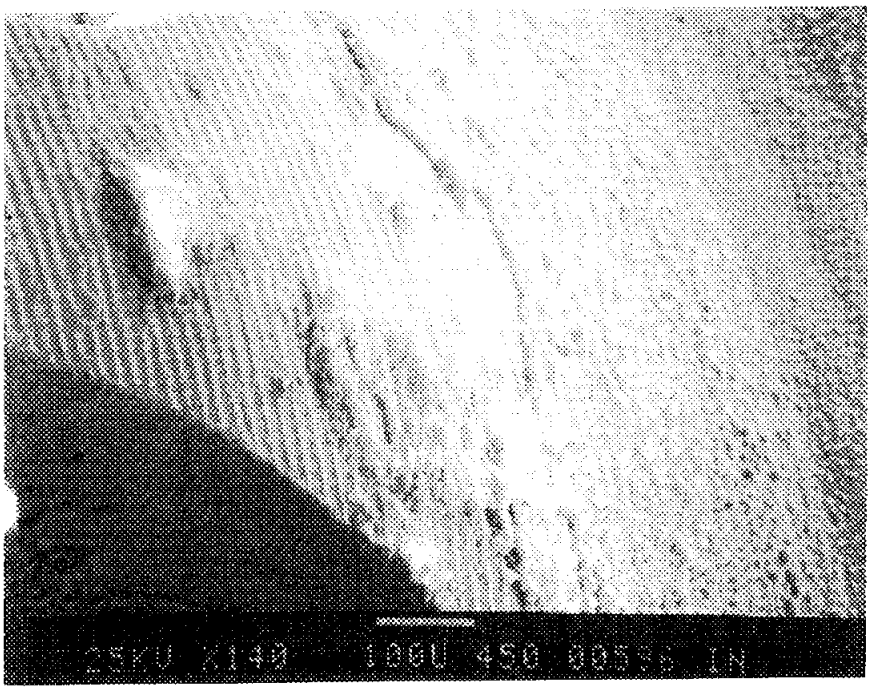


Bild 18 a,b Belagbildung auf Maschinenteil nach langer Lagerzeit im Dielektrikum ohne Reinigung; Aufnahmen im Rasterelektronenmikroskop
a) 70 – fache und b) 140 – fache Vergrößerung

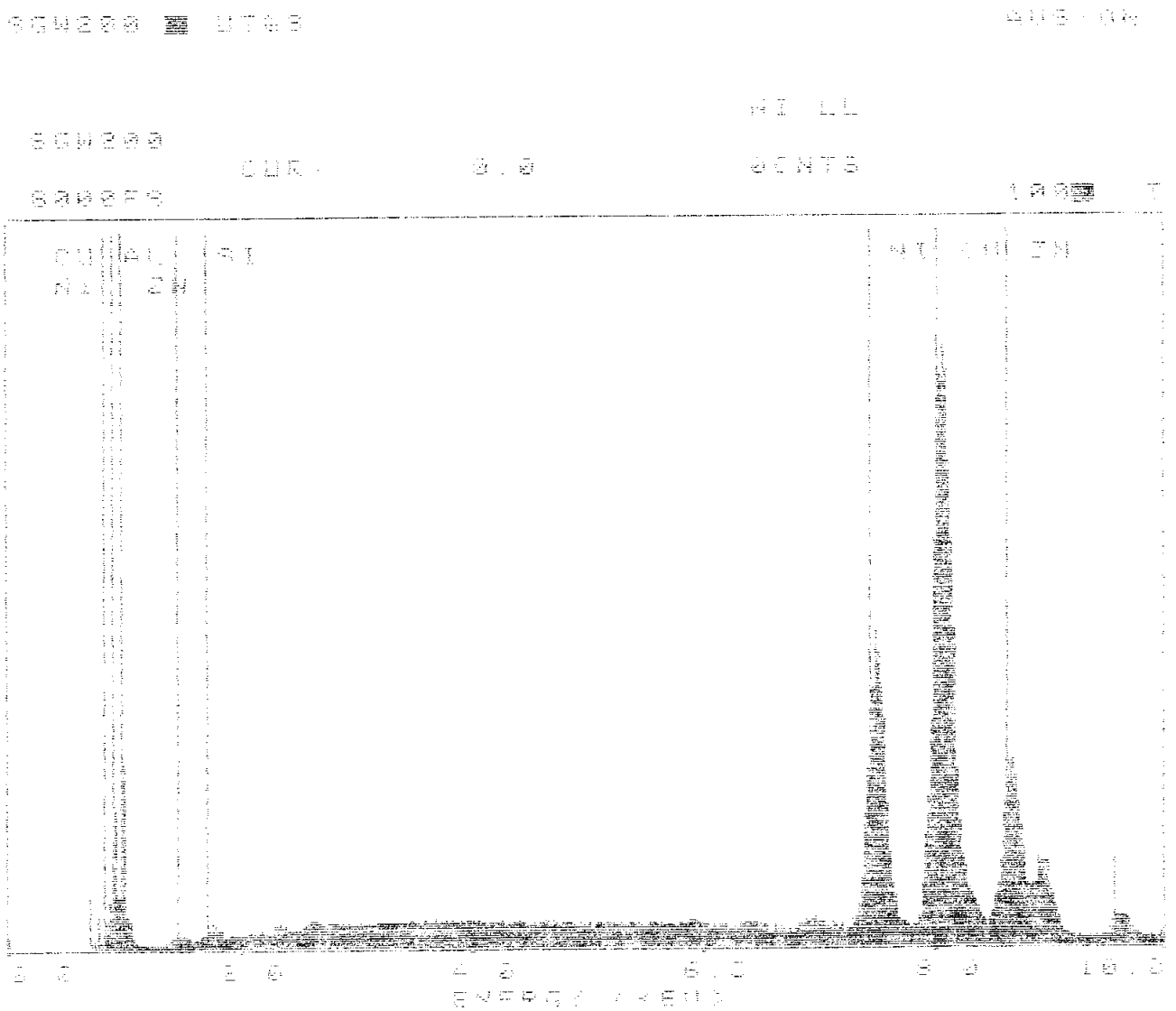


Bild 19 Elementanalyse des **Maschinenbauteils** (Bild 18)

Das Grundmaterial bestehlt aus Neusilber :
Hauptbestandteile Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn)

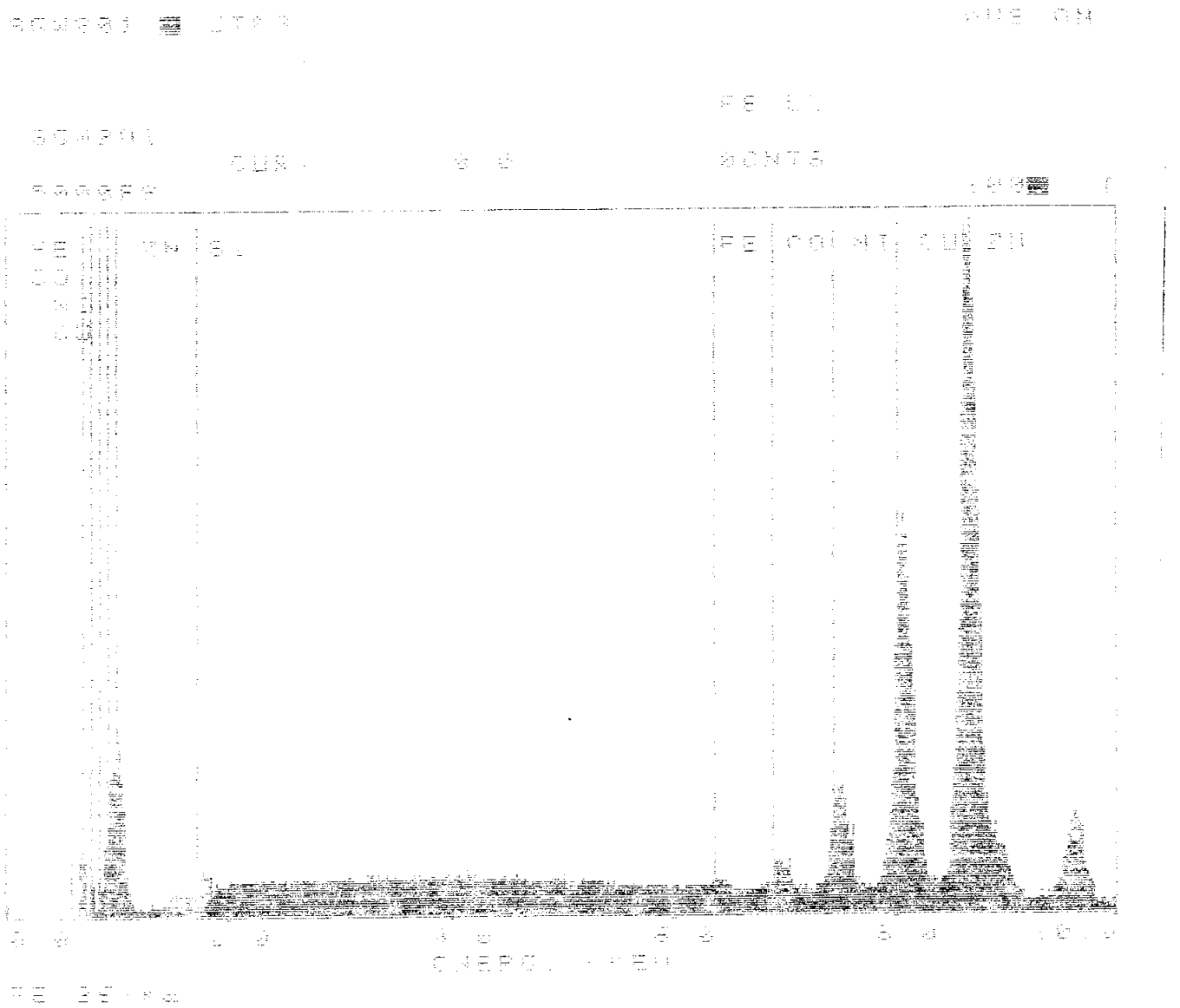


Bild 20 Elementanalyse des **Belags** auf dem Bauteil (Bild 18)

Der Belag besteht aus Zink (Zn) und Kupfer (Cu),
den Hauptbestandteilen des Schneidedrahtes, sowie
Nickel (Ni) und Kobald (Co) aus dem bearbeiteten Material.

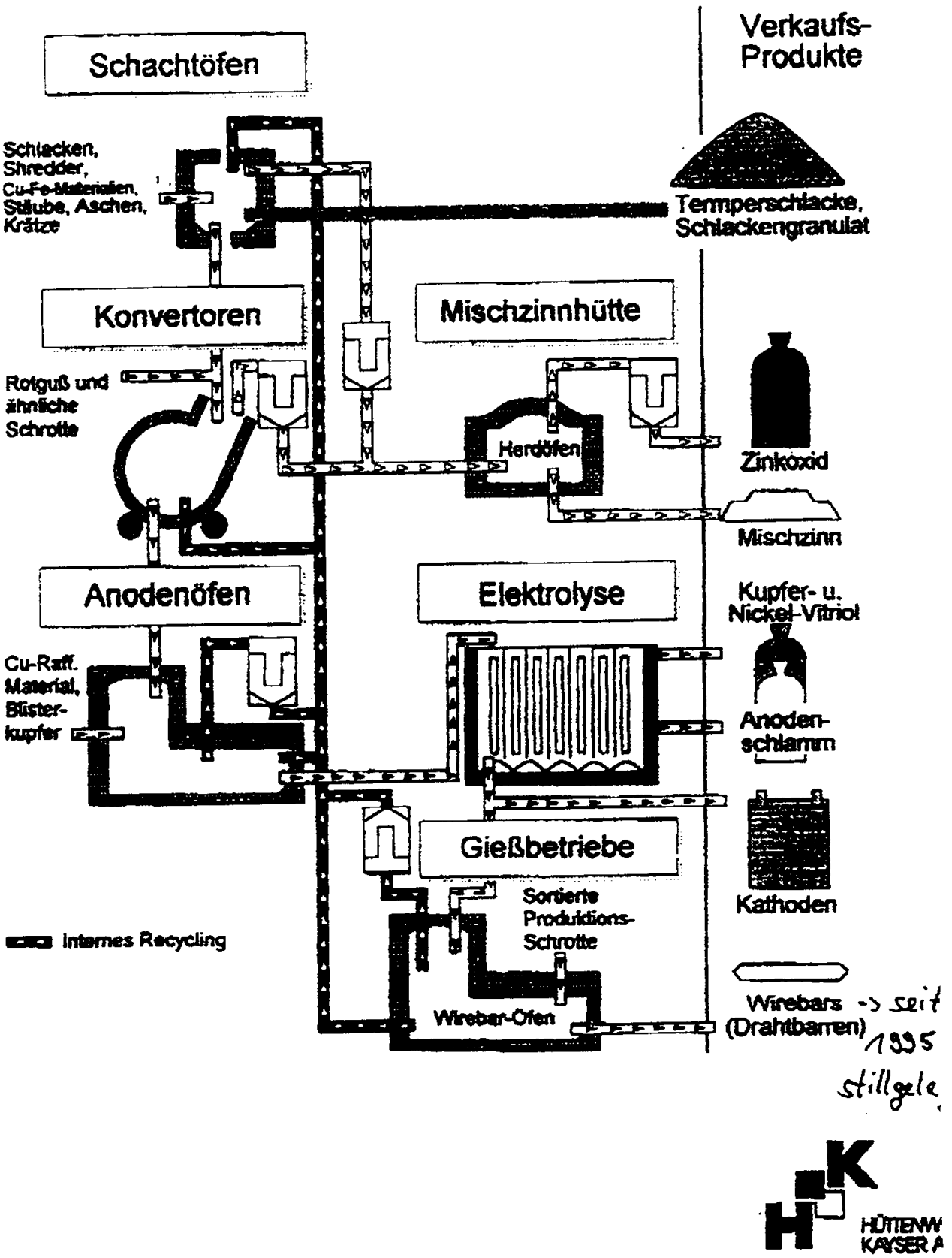


Bild 21 Verarbeitungsgang zur Wiederaufarbeitung eines Buntmetallschlammes

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auch ein neues umweltfreundliches Verfahren kann auf Dauer nur dann am Markt bestehen und ein etabliertes Verfahren substituieren, wenn es in Summe für den Anwender kostenmäßige Vorteile bietet.
Als wirtschaftliche Rahmenbedingung für den Ersatz "neu" gegen "alt" ist hierfür der Preis für das zur Zeit verwendete Einwegharz anzusetzen. Dieser setzt sich aus dem Preis für das neue Harz mit ca. 5 bis 7 DM je Liter und dem Preis für die Entsorgung (Transport und Deponie) von ca. 2 DM je Liter zusammen.
Wie bei einer ersten Kostenrechnung ermittelt, sollte der Kostenrahmen für den Anteil der Regenerierung erreichbar sein. Schwieriger wird die Kostenkalkulation für den An- und Abtransport der Harzpatronen, da hier die Lage bzw. die Entfernung zur Regenerierstation, die zu befördernde Menge, die Häufigkeit der Belieferung und die Nachbarschaft zu weiteren Kunden wichtige Kalkulationskriterien sind. Gerade beim Aufbau eines solchen Logistiksystems sind diese Einflußparameter nur teilweise bekannt und müssen deshalb kaufmännisch bewertet werden, weil die Transportkosten sonst ungewollt zum Ausschlußkriterium für kooperationswillige Kunden werden können. Für solche Fälle kann mit einer geeigneten Mischkalkulation eine positive Kostengestaltung erreicht werden, die auch für die Gesamtauslastung der Regenerierstation und damit auf die Regenerierkosten Einfluß hat.
Der dritte Kostenfaktor für den Anwender sind die Investitionen für die benötigten Mischbettharzpatronen die gegenüber der Harzbelieferung in anderen Gebinden zwar Investitionskosten verursachen aber auch eine wesentliche Arbeitszeitersparnis und Rationalisierung ermöglichen.
Da jede Patrone ca. 700 DM kostet und pro Maschine 2 - 3 Harzpatronen wegen des Materialwechsels verfügbar sein sollten, ist für einen durchschnittlichen Drahterodierbetrieb eine Investitionssumme von 4 – 20 TDM erforderlich. Wenn die zu erwartende Gebrauchsdauer dieser Patronen mit 7 – 10 Jahren angenommen wird, errechnen sich bei einer typischen Nutzung kalkulatorische Kosten zwischen 0,1 DM bis 0,3 DM je Liter regeneriertes Harz.
Diesem - nicht unerheblichen - Investitionsmehraufwand stehen als Vorteil für den Anwender jedoch auch die entfallende Stillstandszeit beim Patronenwechsel gegenüber dem zeitlich aufwendigeren Harzwechsel bei Einwegharzsystemen gegenüber. Bei vielen Maschinen ist ein Harzwechsel bei werkseitig eingebauten (kleinen) MB- Stahlpatronen mit ca. 10 l Harzinhalt ungefähr nach 6-10 Arbeitstagen erforderlich. Mit den größeren 30 Liter UT&S - Patronen können die Wechselintervalle deutlich verlängert werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit noch mehr verbessert.
Zum Wechseln des Einwegharzes in den Stahlgehäusen mußte bisher die Maschine meist abgeschaltet werden, um das beladene Harz in einen offenen Behälter abzulassen und neues Harz einzufüllen. Die Stillstandzeit der Maschine beträgt bis zu 30 Minuten, die Arbeitszeit jedoch deutlich mehr, denn das An- und Abtransportieren des Behälters für das Harz zum zwischenlagern bis zum Abtransport erforderte ebenso Zeit wie das Reinigen des Fußbodens von evtl. verschüttetem Harz, das auf dem Fußboden eine ernsthafte Rutschgefahr bedeutet.
Die Vorteile rechnen sich nicht nur über die verk[illegible]zte Arbeits- und eine verlängerte Maschinenlaufzeit, wesentlich ist auch der insgesamt bedienerfreundlichere Arbeitsvorgang. Die nunmehr erforderliche Arbeitszeit zum Wechseln wird mit max. 10 min angegeben, da nur noch zwei Gewindeanschlüsse verschraubt werden müssen (Bild 9) und die Patrone vom Transportservice direkt an die Maschine geliefert bzw. dort abgeholt wird.

Ferner entfällt die Zwischenlagerung des beladenen Harzes und die Vorratshaltung des unbeladenen Harzes, da die Patronen vom Austauschdienst der Fa. UT&S Umweltservice GmbH & Co. KG entsprechend den Terminwünschen der Kunden gebracht und zurückgenommen werden.

Die Regenerierkosten liegen zwischen ca. 4,80 DM und 6,80 DM je Liter regeneriertes Harz. Die Transport- und Wiederaufarbeitungskosten für den erzeugten Hydroxidschlamm liegen unter 0,1 DM/l Harz. Damit sind regenerierbare MB-Harze gegenüber Einwegharzen konkurrenzfähig. Die Grenzen für die Marktdurchdringung werden primär nur über die Transportkosten bzw. über den dafür noch durchsetzbaren Mischkalkulationspreis bestimmt.

Können diese Arbeitszeiteinsparungen kostenwirksam im Betrieb genutzt werden, errechnet sich bei einem einmaligen Harzwechsel von 30 l in 4 Wochen je Maschine ein Rationalisierungsvorteil von ca. 15 - 30 DM bei einem internen Verrechnungssatz für Lohn von 60 DM / Std.
Bei 4 Maschinen im Betrieb (vergl. Beispielrechnung) entspricht dies einer reinen Lohnkostenersparnis zwischen 720 DM/a und 1.440 DM/a.

Beispielrechnung für 4 Drahterodiermaschinen

	Regenerierbares MB-Harz	**Einweg MB-Harz**
Verbrauchsmaterialkosten (Harz)		
1 Harzwechsel	18 Liter	16 Liter
je Monat und Maschine		
bei 4 Maschinen je Jahr	864 Liter	768 Liter
Harzkosten	5,40 DM / l	6,00 DM / l
+ Transport	3,00 DM / l	
+ Entsorgung		2,00 DM / l
reine Harzkosten je Jahr	7257,60 DM / a	6144,00 DM / a
Investmittel für		
12 Harzpatronen 8.400 DM	8.400 DM	
AfA linear 5 Jahre	1680 DM / a	
Kalkul. Zins 6%	504 DM / a	
Harz + Harzpatronen je Jahr	9.441,60 DM / a	6.144,00 DM / a
mögliche Ersparnis an Arbeitszeit zum Wechseln		
je Maschine und Monat	20 min.	
Jährlich	16 Std./a	
bei 60 DM / h	960 DM / a	
zusätzlich verfügbare Maschinenstunden		
Jährlich	16 Std./a	
bei 150 DM / h	2400 DM / a	
Harzkosten ./. Arbeitszeitkosten	**6.082 DM / a**	**6.144 DM / a**

9. Beurteilung der Übertragbarkeit

Die über das Modellprojekt geförderte Verfahrenstechnik läßt sich prinzipiell überall dort übertragen und einsetzen, wo Mischbettionenaustauscherharze nach deren Erschöpfung verworfen werden (z.B. Erodierbetriebe, Metallreinigungsanlagen, Mischbettregenerieranlagen).

Im weiteren sind natürlich zukünftige Anwendungen dieser Technik bei Konkurrenzunternehmen zur Fa. UT&S Umwelttechnik und Service GmbH & Co. KG und zunehmend auch bei galvanotechnischen Betrieben gegeben, die MB-Harze einsetzen.
Ein weiterer Anwendungsbereich für das regenerierbare Mischbettharz und damit die stoffliche Verwertung von Harzen und Metallen besteht bei der wässrigen Metallreinigung. So werden zur Zeit bereits mehrere 1.000 l Einwegharz je Monat, durch bei Fa. UT&S regeneriertes MB-Harz ersetzt .

10. Literatur

1) Elektroerosive Metallbearbeitung, Materialabtrag durch Funkenerosion
von Dipl.-Ing. Manfred Feurer,
Vogel-Buchverlag Würzburg ;
ISBN 3-8023-0689-9 1. Auflage 1983

2) Tagungsband „Abfallarmes Erodieren" am 3. Dezember 1996 in Birkenfeld;
Wege zur umweltgerechten Anwendung von Erodieranlagen
ABAG Abfallberatungsagentur, Stauferstr. 15, 70736 Fellbach

3) ION Exchangers
von Konrad Dorfner,
Verlag Walter de Gruyter Berlin New York 1991 ;
ISBN 3 11 010341 9 ISBN 0-89925-311-3

4) Organikum
organisch-chemisches Grundpraktikum
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
Berlin 1970
9. Auflage , Seite 713

ANHANG:

Aufstellungsplan der Regenieranlagen und Abwassertechnik
bei Fa. UT&S Umwelttechnik und Service GmbH & Co. KG

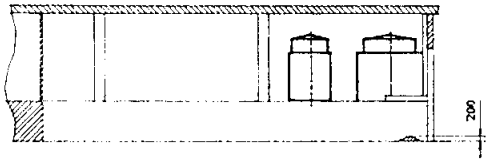
Zahlen der verkauften Schneiderodieranlagen in Deutschland 1993, 1994, 1995

Tabelle: Einstufung von Abfällen nach LAGA und EAK

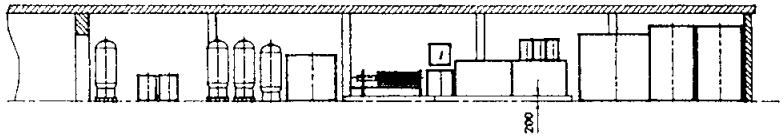
Prüfprotokolle der Qualitätsprüfung und Fertigungsfreigabe (3 Beispiele)

Erhebungsbogen: Kundenerfahrungen / Befragung bei Pilotbetrieben

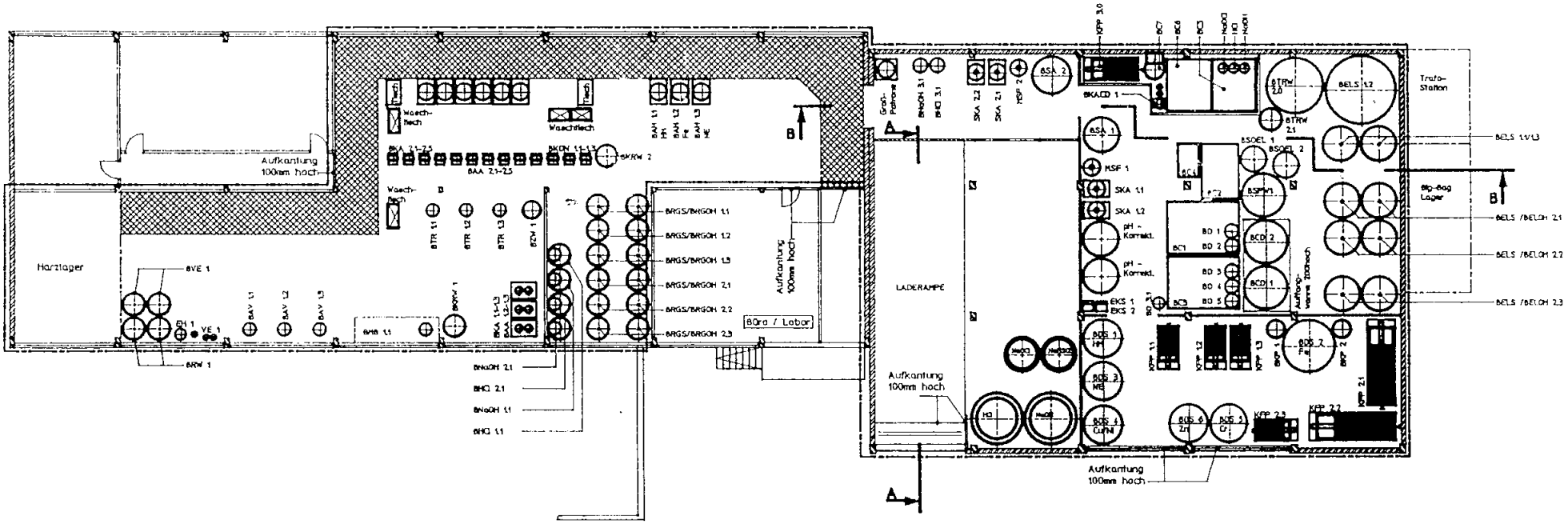
Schnitt "A-A"



Schnitt "B-B"



Rot umrandeter Bereich
ist als Tasse ausgebildet



PLÄNE UND VERFAHRENSKONZEPTE SIND GEISTIGES EIGENTUM DER Fa. U T & S.
WEITERGABE AN DRITTE IST NUR MIT UNSERER AUSDRÜCKLICHEN ZUSTIMMUNG ZULÄSSIG.

		Maßstab: 1:100	Verfasser:
			Überfläche

Zahlen verkaufter Schneiderodiermaschinen in der Bundesrepublik Deutschland

Hersteller	1993	1994	1995
AEG-ELOTHERM			
AGEMA CH			
AGEMA Erotech			
AGIE	131	183	181
CHARMILLES	90	122	145
DECKEL			
ENGESPARK			
HITACHI	11	o	o
INGERSOLL			
JAPAX	5		
FUNAK - MATRA	64	50	80
MAKINO	28	19	25
MECRODE			
MITSUBISHI	52	57	35
MULTIFORM			
ONA	o	5	5
RFE			
SEIBU + BROTHER	29	o	5
SODIK	37	24	5
WALTER	25	17	15
Sonstige			
SUMME	**472**	**477**	**501**
Marktanteile			
AGIE	131	185	181
%	28%	39%	36%
CHARMILLES	90	122	145
%	19%	25%	29%
Zusammen	**47%**	**64%**	**65%**

Abfallbezeichnung nach LAGA	ASN nach LAGA	bes. überwa. bedürftig	ASN nach EAK	Abfallbezeichnung nach EAK	bes. überwa. bedürftig
Bohr-, Schneid- und Schleiföle	54109	ja	12 01 07 12 01 06	verbrauchte. Bearbeitungsöle, halogenfrei verbr. Bearbeitungsöle, halogenhaltig	ja ja
Synthetische Kühl- und Schmiermittel	54401	ja	12 01 10	synthetische Bearbeitungsöle	ja
Erodierschlamm	54707	ja	12 01 11	Bearbeitungsschlämme	ja
Hon- und Läppschlämme	54708	ja	12 02 02	Schleif-, Hon- und Läppschlämme	nein aber: überwachungsbed. zur Verwertung
Schleifschlamm, ölhaltig	54710	ja			
Ionentauscherharze (aus Wasseraufbereitung)	57124	nein	19 09 05	gesättigte oder verbrauchte Ionentauscherharze (aus Wasseraufbereitung)	nein
Ionentauscherharze m. schädlichen Verunreinigungen	57105	ja	19 08 06	gesättigte oder verbrauchte Ionentauscherharze (aus Abwasserbeh.)	ja
Papierfilter, ölgetränkt	18709	nein	15 02 99 D1	Aufsaug- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkl m. schädl. Verunr.	ja
Papierfilter m. schädl. Verunreinigungen, vorwiegend organisch	18710	ja	150 299 D1	Aufsaug.- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung mit schädl. Verunreinigungen	ja
Papierfilter m. schädl. Verunreinigungen, vorwiegend anorganisch	18711	ja			
Zellstofftücher m. schädl. Verunreinigungen, vorwiegend organisch	18712	ja			
Zellstofftücher m. schädl. Verunreinigungen, vorwiegend anorganisch	18713	ja			

Abfälle aus Senk- und Drahterodierprozessen
Einstufung nach LAGA und EAK

ABAG
Die Abfallberatungsagentur

HARZPRÜF.WKS

UT&S

Harzprüfstand

1 Liter regeneriertes Mischbett ohne Blasen!!

Ansatzvorschrift 180 l VE Wasser 105,5 g NaCl

Leifähigkeit nach Salzzugabe: 1,16,1 µS

Parameter für Pumpe

Hublänge 70%

Hubzahl 100%

Chargenbezeichnung	Datum	Vorlagebehälter L	Verbrauch L	Kapazität
Fe 10 17 97	29. Okt. 1997		30	100 %

Bemerkung:

Freigabe für Produktion	Ja X	Nein	Name: [signature]

Laboruntersuchung nur nach besonderer Anweisung

Kapazität	KA in eq/l	AA in eq/l	Bemerkung		

Harzprüfstand

1 Liter regeneriertes Mischbett ohne Blasen!! Ansatzvorschrift 180 l VE Wasser 105,5 g NaCL Leifähigkeit nach Salzzugabe: 1169 µS	
Parameter für Pumpe Hublänge 70% Hubzahl 100%	

Chargenbezeichnung	Datum	Vorlagebehälter L	Verbrauch L	Kapazität
Fe 11 0 4 97	11. Nov. 1997		31	103,33 %

Bemerkung:

Freigabe für Produktion	Ja X	Nein	Name:

Laboruntersuchung nur nach besonderer Anweisung

Kapazität	KA in eq/l	AA in eq/l	Bemerkung		

Harzprüfstand

1 Liter regeneriertes Mischbett ohne Blasen!!

Ansatzvorschrift 180 l VE Wasser 105,5 g NaCL

Leifähigkeit nach Salzzugabe: 1168 µS

Parameter für Pumpe

Hublänge 70%

Hubzahl 100%

Chargenbezeichnung	Datum	Vorlagebehälter L	Verbrauch L	Kapazität
FW 11 0 6 97	13. Nov. 1997		30 L	100 %

Bemerkung:

Freigabe für Produktion	Ja X	Nein	Name:

Laboruntersuchung nur nach besonderer Anweisung

Kapazität	KA in eq/l	AA in eq/l	Bemerkung
	1,65	0,56	la

Kundenerfahrungen / Befragung bei Pilotbetrieben

"Regenerierbares IA Harz" bei Drahterodiermaschienen

Kunde / Firma

Erodieranlagen seit:

Regenerierbares Harz von Fa. UT&S seit:

Bei wieviel Maschinen:

Patronengröße:
Anzahl:
Wechsel:
Häufigkeit:
Patronen je Wechsel:

Anzahl Erodiermaschinen gesamt: Drahterodierm. (Senkerodierm.)

noch mit Einwegharz ca. %

Bearbeitetes Material:	1. Hartmetall	ca.	%
	2. Stahl	ca.	%
	3. Buntmetall	ca.	%

Sortenreinheit in % je Maschine?

Arbeitsaufwand	früher	ca.	je Maschine
	jetzt:	ca.	je Maschine

Anlaufschwierigkeiten ?

Sauberkeit:

geplante Neuinvestitionen Anzahl Zeitraum ?

Kostenabschätzung a) reine Kosten für Ersatzharz
b) gesamt incl. Arbeitszeit u. Stillstandszeiten

Gesamtbeurteilung :