

# Neues Verfahren zur Entsorgung PCB-haltiger elektr. Apparate

E. Schmidl

ASEA BROWN BOVERI, Forschungszentrum, CH-5405 Baden/Schweiz

P. Gmeiner

MICAFIL AG, Vakuumanlagenbau, CH-8048 Zürich

## 1. Einleitung

Bis in die späten sechziger Jahre wurden Transformatoren und Kondensatoren unter anderem mit PCB-haltigen Isolierflüssigkeiten gefüllt. Hinzu kommen eine Vielzahl von Trafos die bei Service-Arbeiten lediglich mehr oder weniger mit PCB kontaminiert wurden und deshalb ebenfalls als Sonderabfall zu behandeln sind. In Europa sind heute noch etwa 270 000 PCB-gefüllte Transformatoren in Betrieb und dazu kommt erfahrungsgemäss noch einmal etwa die gleiche Zahl an stark kontaminierten Geräten.

Ein 630 kVA Trafo besteht aus etwa 1,5 Tonnen Eisen, 350 kg Kupfer und etwa 440 kg Askarel. Ausserdem bestehen einige Trafobauteile aus Holz oder Kunststoff (Phenol-Harze oder Phenol-Kresol-Copolymerisate, Bakelite), was zusammen mit den Isoliermaterialien bis zu 40 kg der Gesamtmasse ausmachen kann. (Abb.:1)

Als Kühlmittel werden in der Regel zwei- bis siebenfach chlorierte PCB-Gemische verwendet. Um die Viskosität herabzusetzen werden bis zu 30% Chlorbenzole zugemischt. Diese Mischungen werden mit dem Sammelnamen "Askarel" bezeichnet. Ein typische Mischungsverhältniss ist z.B.: 75% PCB; 25% Trichlorbenzol.

Die Hauptmenge des nach dem Entleeren im Trafo verbleibenden Rest-Askarels befindet sich in den engen Poren der aus organischem Material bestehenden Bauteile. Diese Holz und Kunststoffteile haben sich im jahrelangen Betrieb quasi wie ein Schwamm mit Isolierflüssigkeit vollgesaugt, aus dem diese nur sehr schwer wieder freigesetzt werden kann.

Ein weiterer kritischer Punkt im Trafo ist der Eisenkern, wo sich zwischen den Eisenplatten ebenfalls PCB-Reste befinden, die nicht mehr ohne weiteres herausgewaschen werden können.

Ein Neutrafo der hier beschriebenen Grösse kostet heute etwa 22.000.- DM. Für die ordnungsgemässe Entsorgung eines gleich grossen PCB-Trafos (Hochtemperaturverbrennung des Isolieröls und Deponierung des leeren Trafos Untertage in Herfa-Neurode) sind z.Zt etwa 7.500.- DM. aufzuwenden. Gelingt es den Altrafo PCB-frei zu bekommen, so stellt der Schrottwert des Trafos einen Gegenwert von ca. 1200.- DM dar. Es besteht also auch ein gewisser wirtschaftlicher Anreiz Altrafos zu recyclieren.

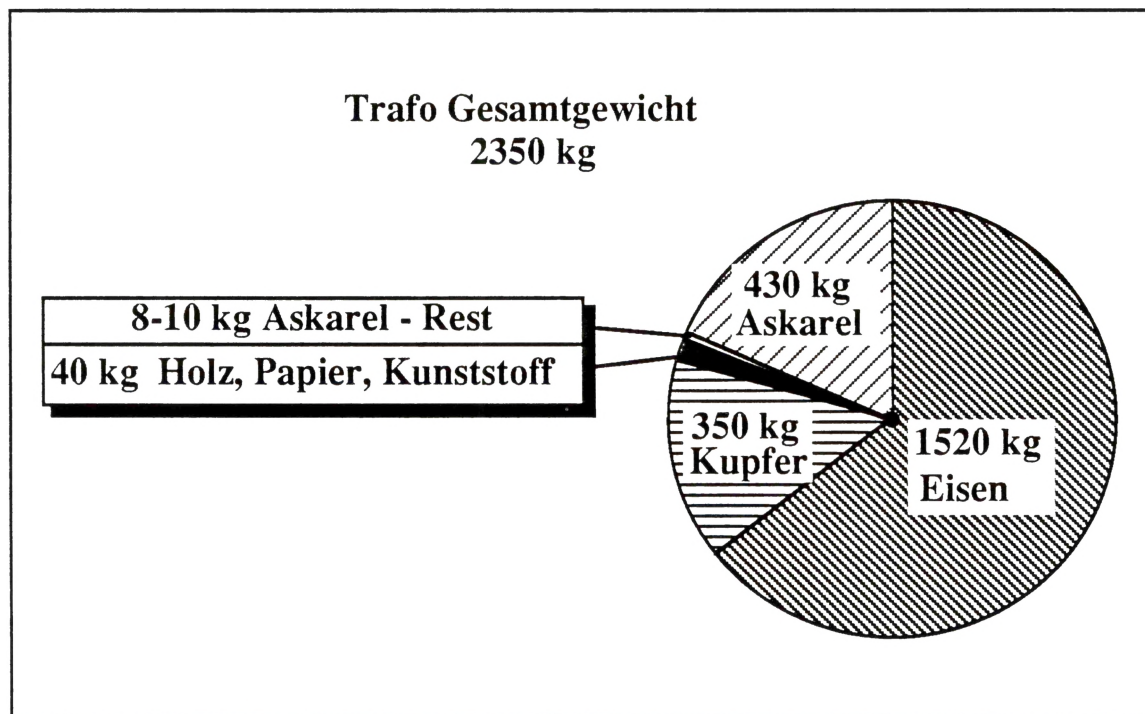


Abb.:1 Massenbilanz eines 630 kVA Transformators

Wenn PCB-Transformatoren heute entsorgt werden, wird zunächst die Isolierflüssigkeit abgelassen und in einer Hochtemperaturverbrennung verbrannt. Da etwa 2-4 % des Dielektrikums nach dem Entleeren im Gerät zurückbleibt, werden die meisten entleerten Trafos in der Untertage-Deponie in Herfa-Neurode deponiert. Zurzeit lagern bereits über 18 000 Alttransformatoren in dieser Deponie was einem Kupfer-Potential von etwa 6000 Tonnen entspricht. Alternativen zur UT-Deponierung sind; die Hochtemperaturverbrennung, das sogenannte "Retrofilling" oder entsprechende Spül- bzw. Auswaschverfahren.

Bei der Hochtemperaturverbrennung wird der Transformator zunächst mit Lösemittel gespült und anschliessend in einem Schredder zerkleinert. Das Schreddergut wird dann in einem Drehrohrofen bei über 1100 °C ausgeglüht. Dieses Verfahren wird zurzeit in Europa nur in England und Frankreich praktiziert. Nachteil dieses Verfahrens ist der hohe Entsorgungspreis, der nicht zuletzt durch die sehr hohen Anlagekosten zustande kommt, da eine aufwendige Rauchgasreinigung unbedingt erforderlich ist. Zudem besteht bereits

da eine aufwendige Rauchgasreinigung unbedingt erforderlich ist. Zudem besteht bereits ein Engpass an Entsorgungskapazität für PCB, sodass eine zusätzliche Entsorgung der festen Transformatorenteile dieses Problem noch verschärft.

Bei dem von amerikanischen Firmen angewandten sog. Retrofilling-Verfahren wird das PCB-haltige Isolieröl gegen PCB-freies ausgetauscht und der Trafo wieder in Betrieb genommen. Nach Auskunft verschiedener Behörden wird dieses Verfahren für stark PCB kontaminierte Transformatoren ( $> 2000$  ppm) in Europa nicht zum Einsatz kommen. Bei diesem Verfahren besteht die Gefahr, dass nach Wiederinbetriebnahme der PCB-Gehalt im Isolieröl wieder über den geforderten Grenzwert ansteigt wenn PCB aus den verschiedenen Trafobauteilen herausgelöst wird. Dieser Trafo stellt dann ein besonders hohes Risikopotential dar, da er dann eventuell nicht mehr als PCB-haltig gekennzeichnet ist.

Spül- und Auswaschverfahren haben bisher zu keiner optimalen Lösung geführt, da mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand die geforderten Restgehalte von  $< 20$  ppm PCB nicht erreicht werden können. Es hat sich vielmehr gezeigt, dass verschiedene Aktivteil-Komponenten, wie Holz und Kunststoffbauteile nach einer entsprechenden Behandlung noch beträchtliche PCB-Reste enthalten. Auch im Isoliermaterial und in Trafoengnissen (z.B. zwischen den Platten des Eisenkerns) sind noch PCB-Reste vorhanden, sodass Kupfer und Eisenanteile nicht verwertbar sind. Sinnvollerweise können diese Verfahren aber zur Vorreinigung von PCB-Trafos eingesetzt werden.

## **2. Vorreinigungs-Prozesse**

Um den Hauptteil des nach dem Entleeren im Trafo zurückbleibenden Rest PCBs zu entfernen, können grundsätzlich folgende Verfahren angewandt werden.

### **2.1 Spül-Verfahren**

Dabei wird der zu behandelnde Apparat nach dem Ablassen des PCB mit einem geeigneten Reinigungsmittel gefüllt. Durch mehrmaliges Umwälzen löst sich ein Teil des PCB in diesem Reinigungsmittel. Die PCB-Aufnahmekapazität des Reinigungsmittels ist begrenzt, sodass eine mehrmalige Erneuerung erforderlich ist. In einem parallelen oder nachfolgenden Destillationsschritt wird das PCB vom Reinigungsmittel wieder abgetrennt.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Vorreinigung im eigenen Gehäuse ohne vorherige Vorbereitungsarbeiten stattfinden kann. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass einerseits die Auswaschung in den inneren Teilen der zu reinigenden Apparate langsam vor sich geht und andererseits grosse Mengen an Reinigungsmittel erforderlich sind, was einen entsprechenden Aufwand an installationstechnischen Einrichtungen (Destillationsanlagen) sowie Energie bedingt.

## **2.2 Auswasch-Verfahren**

Bei dieser Verfahrensart, wird das zu reinigende Objekt mittels Kondensation eines geeigneten Reinigungsmittels aufgeheizt. Durch das an der Oberfläche kondensierende Reinigungsmittel wird das PCB abgewaschen, sowie weitgehend aus den inneren Schichten (z.B. Isolation, Eisenkern ect.) herausgelöst.

Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass in relativ kurzer Zeit das zu reinigende Objekt vom Hauptteil des darin enthaltenen PCB befreit werden kann. Da nur kleine Mengen Reinigungsmittel für den Prozess benötigt werden, kann das PCB mit vertretbarem anlagentechnischem Aufwand mittels Destillation abgetrennt werden.

Um optimale Kondensation zu gewährleisten, sind entsprechende Vakuumanlagen und vakuumfeste Behandlungsautoklaven erforderlich.

Es besteht auch die Möglichkeit die Verfahren 2.1 und 2.2 zu kombinieren.

## **2.3 MICAFIL - Vorreinigungsverfahren**

Die unter Punkt 2.2 erwähnten Vorteile, sowie die Tatsache, dass bei MICAFIL in der sogenannten Kondensations-Trocknungs-Technologie eine über 20-jährige Erfahrung vorliegt, führte zur Entwicklung einer etwas modifizierten Kondensations-Auswasch-Prozesstechnologie.

### **Anforderungen an das Reinigungsmittel:**

Die im folgenden näher klassifizierten Anforderungen die an das Reinigungsmittel gestellt werden müssen, werden am besten von Perchlorethylen erfüllt.

- nicht brennbar

- Dampfdruck < atm.Druck

erlaubt den Prozessablauf im Unterdruckbereich (kein Gasaustritt an die Umgebung während des Prozesses).

**- grosse Dampfdruckdifferenz**

zwischen Reinigungsmittel und dem zu entsorgenden chlorierten PCB-haltigen Isolierflüssigkeiten (Diagramm D1 siehe Anhang) gewährleistet einfache Rückgewinnung des Reinigungsmittels mittels Destillation.

**-möglichst hohe Kondensationstemperatur**

im entsprechenden Druckbereich gewährleistet hohe Aufheiztemperatur des Objektes (100 - 105 °C) respektive tiefe Viskosität des PCB.

**-weitgehende Rückgewinnung**

des Reinigungsmittels durch Kondensation bei wirtschaftlich vertretbaren Temperaturen.

**-gute Löslichkeit mit PCB**

**-schlechte Löslichkeit**

von Wasser im Reinigungsmittel ( $< 0,0105$  Gew.%)

von Reinigungsmittel im Wasser ( $< 0,015$  Gew.%)

**-gute Stabilität**

Zersetzungsbeginn ca. 150°C

**-Verträglichkeit**

mit Materialien des Transformators sowie der Anlage

**-Umweltverträglichkeit**

Die in der TA-Luft vorgeschriebenen Höchstausschlagmengen, sowie MAK-Werte sind ohne allzugrossen anlagentechnischen Aufwand zu gewährleisten.

### **2.3.1 Ablauf des Vorreinigungsprozesses**

Der Ablauf des Vorreinigungsprozesses lässt sich in die vier folgenden Hauptphasen unterteilen:(siehe Diagramm D2)

I.) Vorevakuierphase:

Dabei wird der Autoklav (Pos.1) auf ca. 10-15 mbar evakuiert. Dies gewährleistet einerseits einen weitgehend sauerstofffreien Prozessablauf (keine Brandgefahr) und andererseits gute Kondensation des Reinigungsmittels respektive schnelle Aufheizung des zu entsorgenden Objektes. Ausserdem wird dadurch der Austritt von PCB aus der Anlage bei einem eventuell auftretendem Leck vermieden.

## II.) Aufheiz-Auswaschphase

Einziehen einer minimalen Menge an Reinigungsmittel in den Autoklaven mit gleichzeitiger Aufheizung respektive Verdampfung über den im Autoklaven liegenden Kaskadenverdampfer. Durch die Kondensation des Reinigungsmittels wird das zu behandelnde Objekt aufgeheizt und gleichzeitig PCB von der Oberfläche abgewaschen.

Infolge der guten Löslichkeit zwischen Reinigungsmittel und PCB wird auch aus den inneren Schichten zum Teil PCB herausgelöst. Ein Teil des im Autoklav vorliegenden Gasgemisches (Reinigungsmittel, Wasser, Leckluft) wird zur Kondensationsanlage (Pos.2) geführt, wo die flüssigen Komponenten kondensieren und die nicht kondensierbaren Anteile durch die Vakuumanlage (Pos.6) abgesaugt werden.

### II.A) Zwischendrucksenkungsphase mit paralleler Destillation

Versuche im Labor sowie in der Pilotanlage haben die theoretischen Überlegungen bestätigt, dass durch sogenannte Zwischendruckabsenkungen im Autoklaven unterhalb der Verdampfungstemperatur des Reinigungsmittels das Herauslösen von PCB aus inneren Isolationsschichten beschleunigt wird, da das abdampfende Reinigungsmittel das PCB nach aussen mitschleppt (siehe Diagramm D3).

Während diesen Zwischendruckabsenkungsphasen wird das mit PCB verunreinigte Reinigungsmittel über den Kaskadenverdampfer umgewälzt (pos.1.1) und dabei gleichzeitig aufdestilliert. Der PCB-haltige Destillationsrückstand (Clophen, Pyralen, etc.) kann danach in einen separaten Behälter entleert werden.

Dieses Verfahren (Zwischendruckabsenkung mit gleichzeitiger Destillation) ist patentrechtlich geschützt.

## III.) Drucksenkungsphase

Nach Beendigung der Aufheizphase mit diversen Zwischendrucksenkungsphasen wird mittels der Kondensationsanlage der Druck im Autoklaven (Pos.1) soweit abgesenkt, dass der Hauptteil des durch die Isolation aufgenommenen Reinigungsmittels wieder rückverdampft.

## IV.) Feinvakuumphase

Durch weiteres Absenken des Druckes (auf ca. 0,5-1 mbar) mit der Vakuumanlage (Pos.6) wird bis auf kleine Restmengen alles Reinigungsmittel wieder zurückgewonnen sowie ebenfalls ein Teil des PCB-Verdünnungsmittels (Trichlorbenzol) abgedampft.

Nach der Feinvakuumphase ist praktisch kein Sauerstoff mehr im Autoklaven vorhanden, was aus sicherheitstechnischen Gründen sowie für den nachfolgenden Pyrolyse-Prozess erforderlich ist.

### 2.3.2 Erreichbare PCB-Restgehalte

Die erreichbaren PCB-Restgehalte sind im wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

- Aufheiztemperaturen
- Dauer des Prozesses
- Materialart und Aufbau (Dicke und Dichte, Eisen Isolation, Holz etc.)

Pilotversuche haben gezeigt, dass der Grossteil des nach dem Entleeren im Trafo verbliebenen Rest-PCB (90-95 %) nach relativ kurzer Betriebszeit ausgewaschen ist. Die Absenkung der PCB-Gehalte auf sehr tiefe Werte verläuft aber asymptotisch.

### 2.3 Aufbau der PCB-Vorreinigungsanlage

Der Aufbau der PCB-Vorreinigungsanlage ist in seinen Hauptkomponenten in Schema S1 dargestellt.

Die zwei wichtigsten Anlagekomponenten, beheizter Vakuum-Autoklav und Vakuumanlage sind ebenfalls für den Pyrolyse-Prozess erforderlich und erfüllen demzufolge eine Doppelfunktion, wodurch der anlagentechnische Aufwand reduziert wird.

## 3. Pyrochem-Verfahren

### 3.1 Beschreibung des Verfahrens

In Abb.:2 ist das Pyrochem-Verfahren schematisch dargestellt. Der Name des Verfahrens ergibt sich aus den Worten "**Pyrolyse**" und "**chemische Umsetzung**".

Der Autoklav in Abb.2 ist derselbe der auch schon im oben beschriebenen Vorreinigungsverfahren eingesetzt wurde.

Der komplette Transformator oder eventuell auch nur der mit PCB-kontaminierte Aktivteil kann also nach der Vorreinigung im Autoklaven verbleiben. Dieser wird lediglich mit Inertgas ( $N_2$ ) geflutet und anschliessend auf etwa 350-400 °C aufgeheizt. Um bei eventuellen Leckagen Gasaustritt zu verhindern wird ein leichter Unterdruck von ca. 900 mbar im gesamten System aufrecht erhalten. Wird ein eingestellter Sauerstoff-

Schwellenwert überschritten, so wird der Autoklav automatisch mit Inertgas ( $N_2$ ) geflutet.

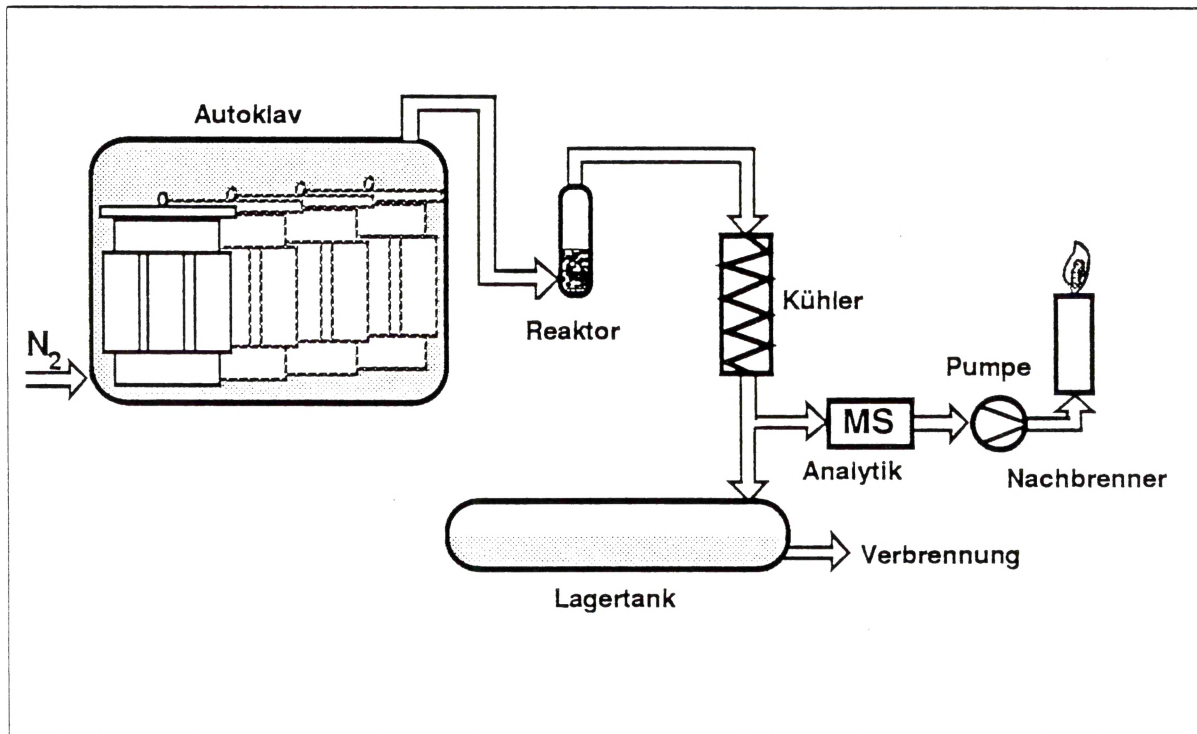


Abb.:2 Verfahrensschema des Pyrochem-Prozesses

Die unter obigen Bedingungen entstehende Gasphase besteht aus den Komponenten des Isolieröls und aus Pyrolyseprodukten der Holz- und Kunststoffanteile, sowie den Isoliermaterialien. Die Gasphase wird nach dem Autoklaven in einen chemischen Reaktor geleitet, in welchem sich eine Natronlauge-Schmelze ( $NaOH$ ) bei einer Temperatur von  $>400\text{ }^{\circ}C$  befindet. Die Gasphase wird über ein geeignetes Eintragsystem in der Schmelze optimal verteilt. Chlorhaltige organische Anteile im Prozessgas werden unter Bildung von  $NaCl$  dechloriert und das entstandene Kochsalz bleibt gelöst in der im Überschuss vorhandenen  $NaOH$ -Schmelze zurück. Die nun chlorfreien organischen Komponenten verlassen den Reaktor, werden in einem Intensivkühler kondensiert und anschliessend in einem Vorratstank gesammelt. Dieses Kondensat kann auf chlorhaltige Anteile untersucht werden bevor es dann ohne Gefährdung für die Umwelt einer Verbrennung zugeführt wird. Nicht kondensierbare Pyrolysegasanteile (z.B.  $CH_4$ ,  $H_2$ ) werden in einem Massenspektrometer on-line auf chlorhaltige Komponenten untersucht und schliesslich in einer Fackel mit Stützbrenner nachverbrannt.

Bei Erreichen eines eingestellten Chlor-Schwellenwertes wird automatisch auf einen zweiten Reaktor umgeschaltet.

Nach einer Abkühlphase werden die Transformatorteile aus dem Autoklaven genommen. Um die metallischen Bauteile wie Kupferspulen oder Eisenkern als Schrott verwerten zu können, ist ein Grenzwert von  $< 20$  ppm Rest-PCB in allen Transformatorenkomponenten einzuhalten. Dieser Grenzwert wurde mit oben beschriebenem Verfahren im Laborexperiment, bei welchem Trafobauteile bis zu 15 cm Kantenlänge untersucht wurden, deutlich unterschritten.

Zurzeit ist eine Pilotanlage zur Entgiftung kompletter Trafos im Bau.

### 3.2 Entsorgungskonzept:

Mit oben beschriebenem Verfahren ergibt sich für PCB-haltige Alttransformatoren das in Abb.:3 dargestellte Entsorgungskonzept.

Danach wird zunächst wie bisher der überwiegende Teil der Isolierflüssigkeit abgelassen. Im zweiten Schritt wird der Transformator einer Vorreinigung unterworfen.

Die daraus resultierende verunreinigte Lösung wird destillativ aufgearbeitet, sodass das eingesetzte Reinigungsmittel wiederverwendet werden kann. Ein Grossteil des nach dem Entleeren im Trafo verbleibenden Rest-PCB kann durch diesen Vorreinigungsschritt entfernt werden.

Für diesen Waschvorgang werden vorzugsweise chlorierte Lösemittel wie Tri-, Per- oder Tetrachlorethylen eingesetzt. Der PCB-haltige Rückstand aus der Lösemittelaufarbeitung wird der abgelassenen Isolierflüssigkeit zugeschlagen und zusammen mit dieser in einer Hochtemperaturverbrennung entsorgt.

Nach dieser Vorreinigung ist das Trafogehäuse bereits so sauber, dass es recycelt werden kann.

Der Vorreinigungsschritt kann ausserhalb des Autoklaven durchgeführt werden, wobei dann nur noch der Aktivteil des Trafos der Pyrolyse unterworfen werden muss.

Vorteilhafterweise wird die Pyrolyse aber mit dem von der Fa. MICAFIL entwickelten sogenannten "Vapor-Phase-Verfahren" kombiniert (siehe oben). Durch Behandlung der Trafos mit dem Vapor-Phase-Verfahren können über 90% des Rest-PCB herausgespült werden. Die Pyrolyse wird der Vorreinigung dann direkt angeschlossen.

Bei der Pyrolyse werden etwa 60-70% der organischen Substanz in die Gasphase überführt. Dieses Pyrolysegas wird im chemischen Reaktor nachbehandelt, wobei pro Trafo etwa 1-2 kg NaCl entstehen.

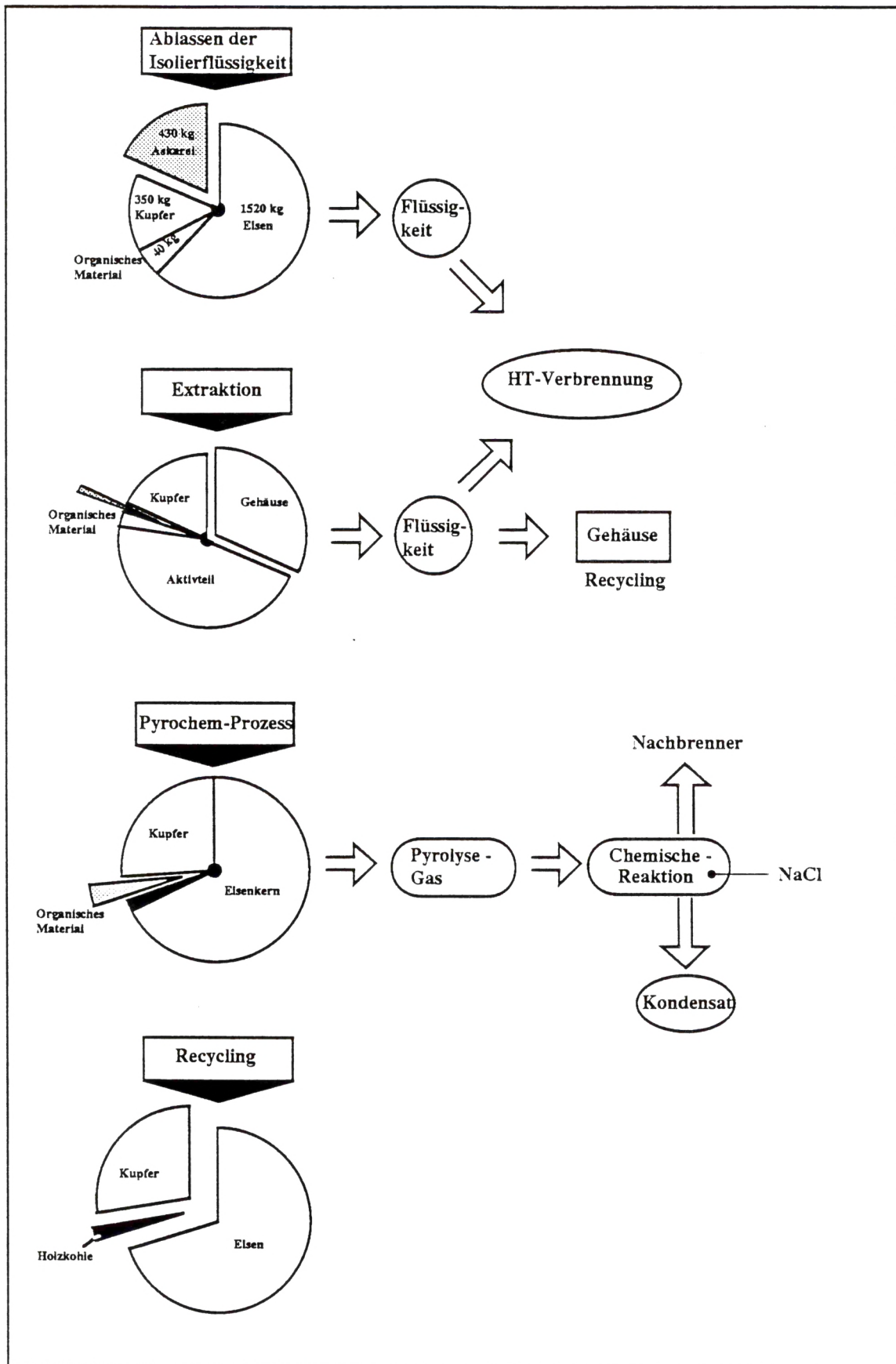


Abb.:3 Entsorgungsschema für PCB-haltige Transformatoren

Der chemische Reaktor wird regeneriert, wenn etwa 60% der NaOH verbraucht ist. Die überschüssige NaOH und das gebildete NaCl werden mit Wasser aus dem Reaktor gespült und die Lösung mit HCl neutralisiert. Pro Trafo ergibt sich damit eine Kochsalzfracht von maximal 3 kg, die an den Vorfluter abgegeben werden kann.

Nicht kondensierbare Gasanteile werden im Nachbrenner verbrannt.

Das Kondensat kann nach Überprüfung auf Chlorfreiheit ebenfalls problemlos verbrannt werden.

Der nun PCB-freie Transformator-Aktivteil wird aus dem Autoklaven genommen und auseinandergebaut, wobei die Kupfer und Eisenanteile nun als Altmetalle verwertbar sind. Ein kleiner Rest bei der Pyrolyse entstandener Holzkohle kann ebenfalls verbrannt werden, da auch in dieser Holzkohle kein PCB mehr festgestellt werden konnte.

#### 4. Analytik:

Werden Askarele auf über 300°C erhitzt, so bilden sich Pyrolyseprodukte (chlorierte Benzole, HCl, KW). Wird die Erwärmung unter Inertgas durchgeführt, so wird die mögliche Bildung der hochtoxischen Dioxine und Furane verhindert. Diese Verbindungen sind aber produktionsbedingt im PCB in sehr geringen Mengen immer enthalten. Soweit sie in unserem Verfahren nicht bereits pyrolytisch zersetzt werden, werden sie aber anschliessend im chemischen Reaktor dechloriert und damit entgiftet. Der bei der Pyrolyse auftretende Chlorwasserstoff wird ebenfalls im Reaktor abgefangen und neutralisiert. Auch die Kunststoffanteile im Trafo (Phenolplaste) sind nur bis etwa 300 °C beständig. Sie bilden bei höheren Temperaturen Zersetzungsprodukte wie z.B. Benzole oder Phenole. Diese Produkte durchströmen unbeeinflusst den Reaktor und werden im Kühler ebenso kondensiert wie ein Grossteil der ab 250 °C auftretenden Pyrolyseprodukte des Holzes.

Alle Laborversuche wurden mit Hilfe von GC/MS Analytik überwacht.

Um Aussagen über optimale Betriebsparameter wie Temperatur, Druck oder Verweilzeit zu bekommen, wurden die Versuche zunächst mit einer Modellschubstanz durchgeführt. Für diese Zwecke hat sich Chlorbenzol als die am besten geeignete Substanz erwiesen (Tab 1). Chlorbenzol ist nicht besonders toxisch (Giftklasse 3), während die Bindungsenergie der C-Cl Bindung in der gleichen Grössenordnung liegt wie beim PCB. Beim PCB sind die Bindungsstärken der einzelnen C-Cl Bindungen natürlich abhängig vom Chlorierungsgrad. Das letzte Chloratom ist dabei immer am schwersten abzuspalten, während das erste Cl-Atom mit zunehmenden Chlorierungsgrad, durch zusätzliche Mesomerieeffekte, immer leichter abgespalten werden kann.

Tabelle:1

Substanz	Giftklasse	Molmasse	Bindungsenergie (C-Cl)
CCl <sub>4</sub>	1	154, g/mol	290 kJ/mol
Methylchlorid	3	50,5 g/mol	350 kJ/mol
Chlorbenzol	3	112,5 g/mol	400 kJ/mol
PCB	1	188 - 499 g/mol	190 - 380 kJ/mol; (abhängig vom Chlorierungsgrad)

Die ersten Versuche mit Chlorbenzol zeigten, dass unter oben genannten Bedingungen das Chloratom abgespalten und zu NaCl abgebunden werden kann. Dieser positive Versuchsverlauf gab zu berechtigten Hoffnungen Anlass, dass auch PCB oder andere chlorierte organische Verbindungen nach dieser Methode dechloriert werden können.

In Abb.4 sind zwei Massenspektren gezeigt, die beide aus Holzproben eines PCB-Trafos stammen.

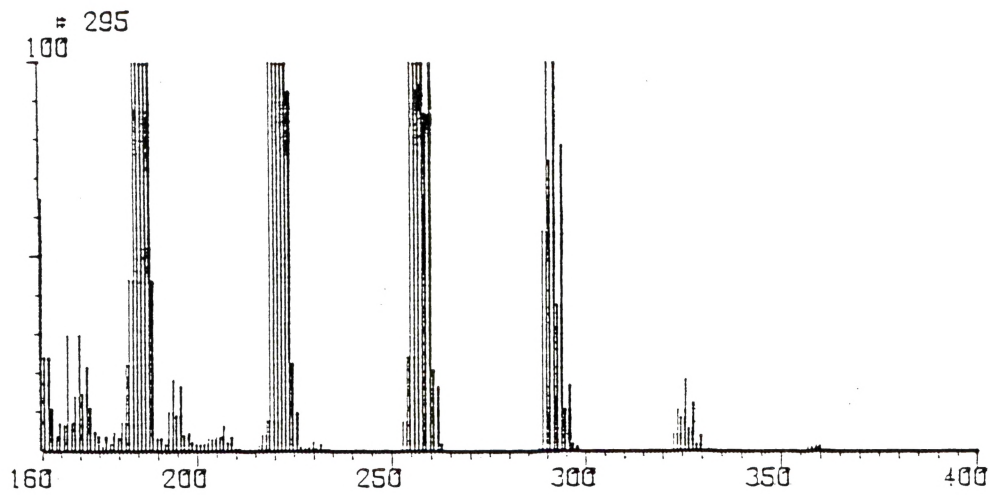
*Spektrum 1* wurde aus einer Holzprobe gewonnen, welche zuvor einer intensiven Vorreinigung nach dem "Vapor Phase-Verfahren" unterworfen wurde. Der PCB-Gehalt beträgt in dieser Probe noch über 1000 ppm.

*Spektrum 2* stammt aus derselben Holzprobe, die aber nach der Vorreinigung noch nach dem Pyrochem-Verfahren behandelt wurde.

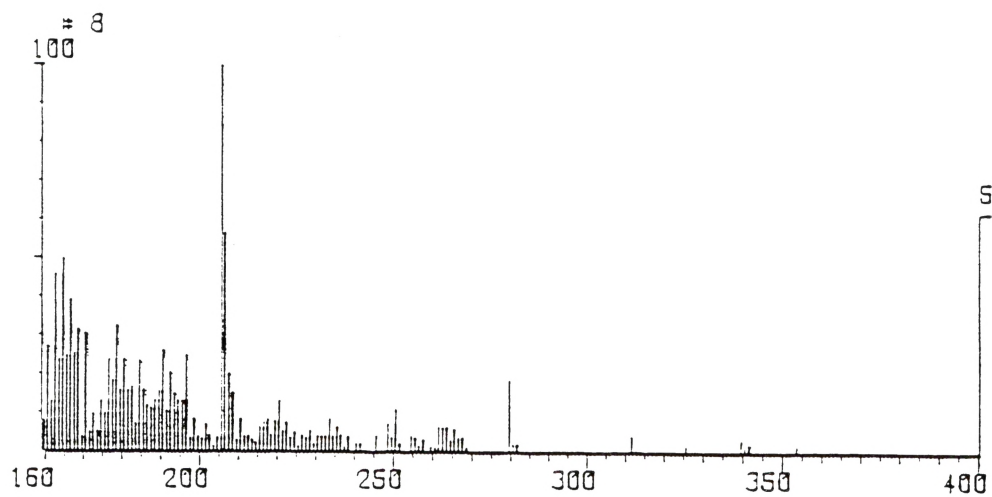
Auch bei höchster Empfindlichkeit konnten in dieser Probe keine chlorierten Produkte mehr nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze an unserem Massenspektrometer liegt bei < 1 ppm.

Diese Ergebnisse haben uns ermutigt mit dem Bau einer Pilotanlage zu beginnen.

Die Pilotversuche, mit denen wir etwa Mitte dieses Jahres beginnen werden, sollen bis Ende 1989 abgeschlossen sein.

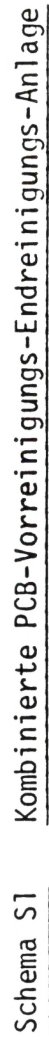


Spektrum 1: Holzprobe nach Lösemittelspülung



Spektrum 2: Holzprobe nach Pyrochem Prozess

Abb.:4 Festprobenspektren: Aufgenommen an einem Finnigan 3300 GC/MS - System



1	Hochtemperatur Vakuumautoklav	2	Kondensator	5	Förderpumpen
1.1	Kaskaden-Verdampfer	3	Trennbehälter	6	Vakuumanlage
1.2	N <sub>2</sub> -Umwälzanlage	4	Puffertank	7	Lösemitteltlagertank

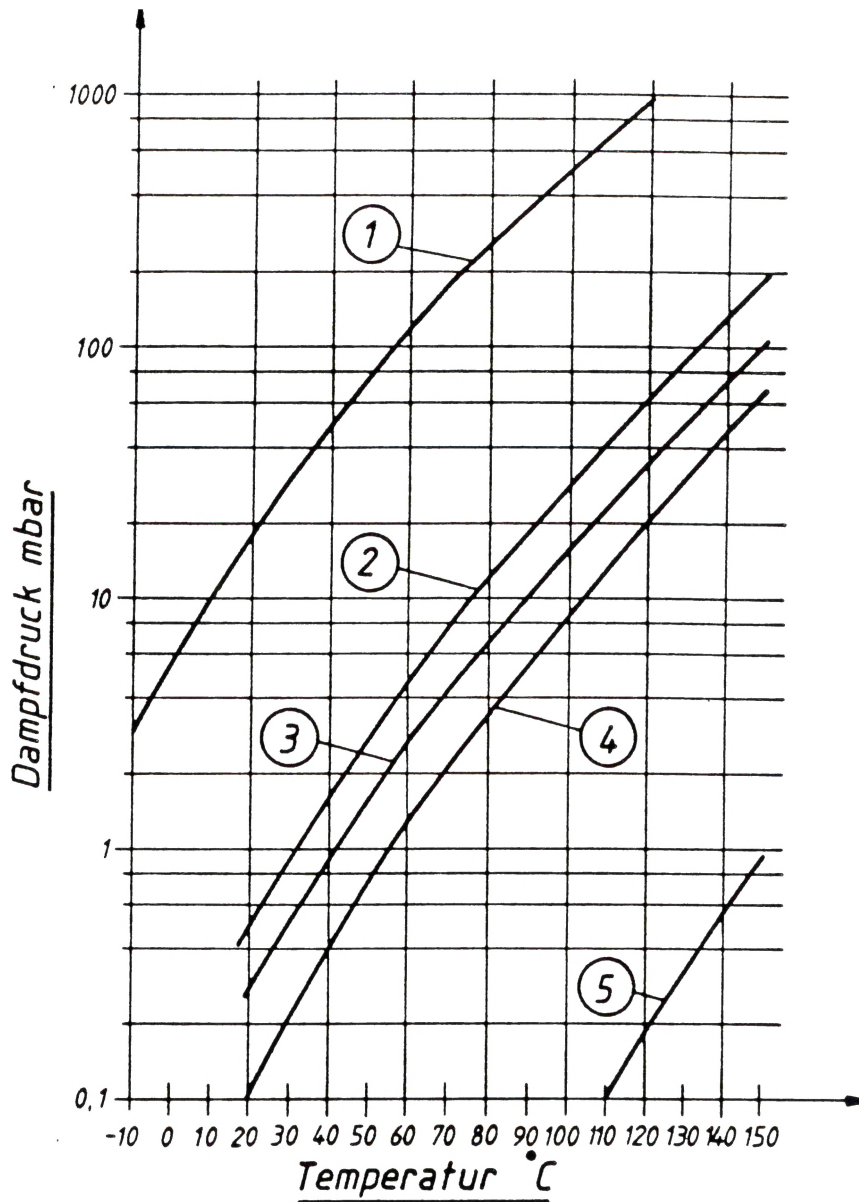


Diagramm D1

Dampfdrücke von Lösungsmittel und chlorierten PCB-haltigen Isolierrflüssigkeiten

- Kurve:
- ① Lösungsmittel Perchloräthylen (Tetrachloräthylen)
  - ② PCB-Verdünnungsmittel Trichlorbenzol
  - ③ Pyralen TI / 60% PCB, 40% Trichlorbenzol
  - ④ Clophen T64N / 70% PCB + 30% Trichlorbenzol
  - ⑤ PCB Polychloriertes Byphenil (A50)

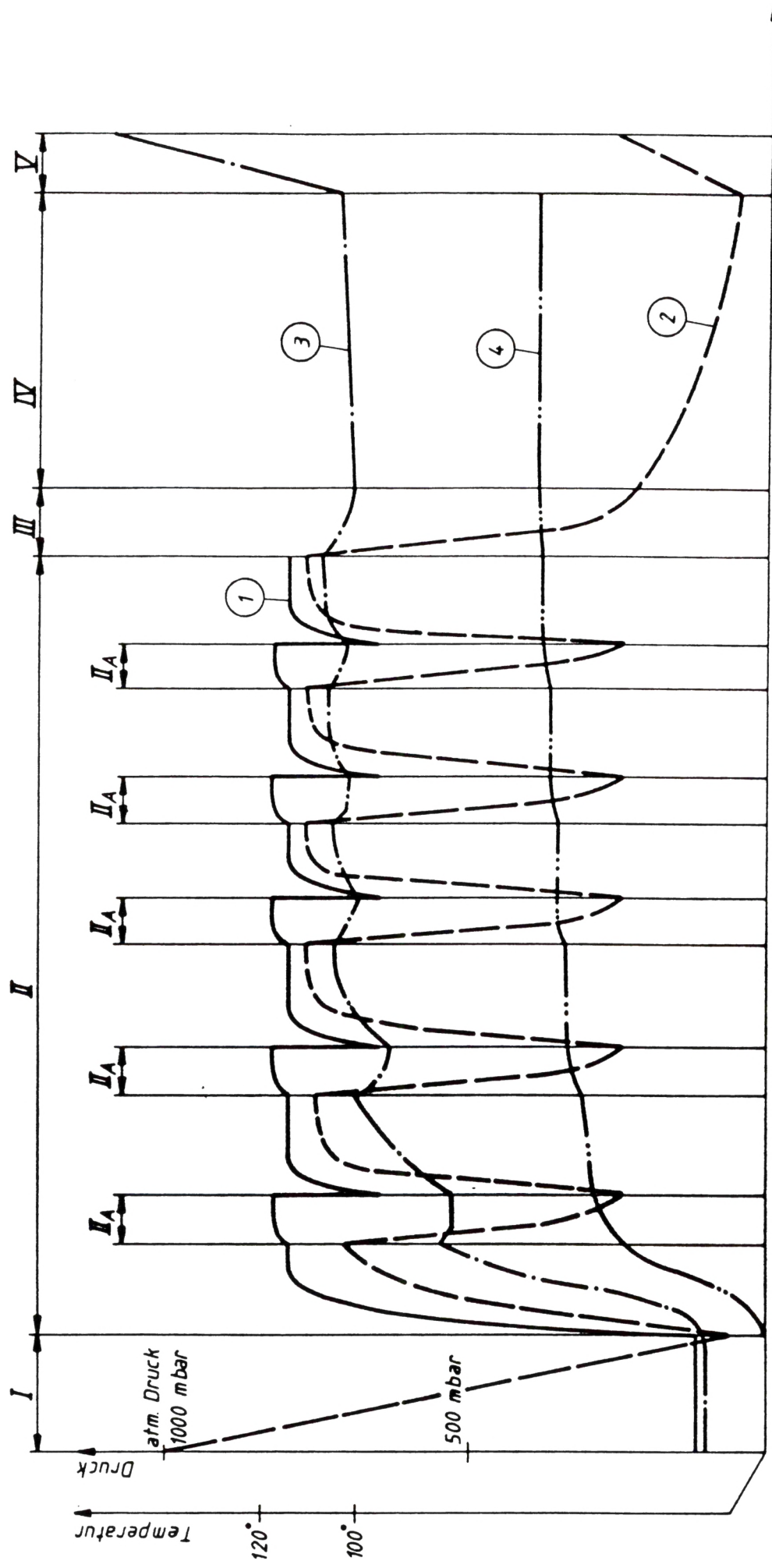


Diagramm D2 MICAFIL - PCB - Reinigungsverfahren

①

② Temperatur des Lösungsmittels

③ Druck im Autoklav

④ Temperatur des Reinigungsobjektes

Extraktion von PCB

I

II

IIA

III

IV

V

Vorevakuierungphase

Aufheiz-/Auswaschphase

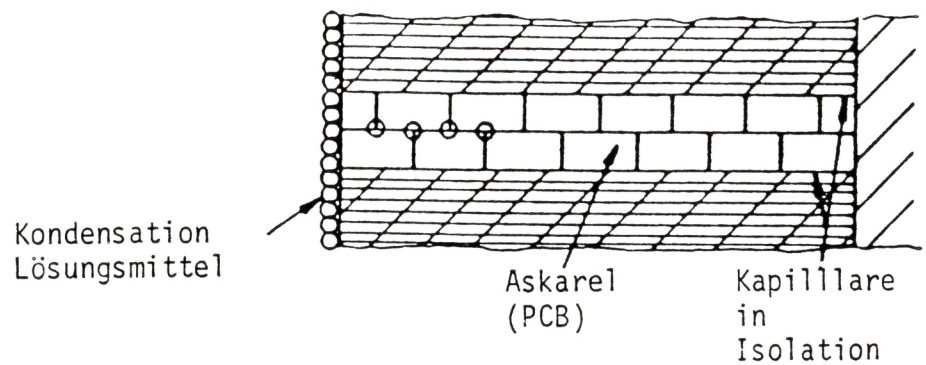
Zwischendrucksenkungsphase mit paralleler Destillation

Drucksenkungsphase

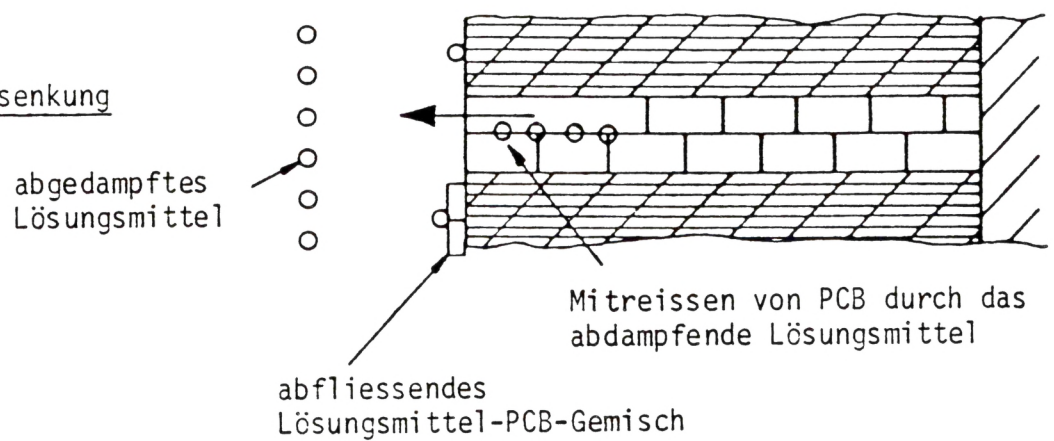
Feinvakuumpphase

Pyrolyse-Prozess

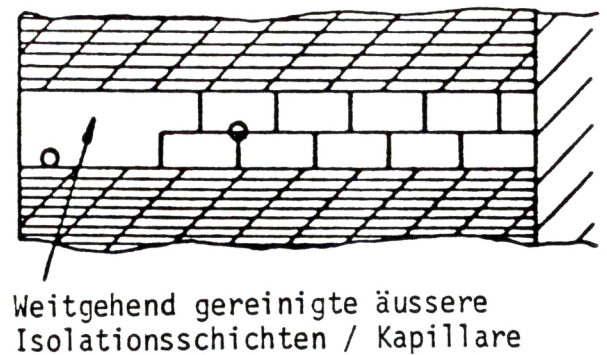
1) Kondensationsphase



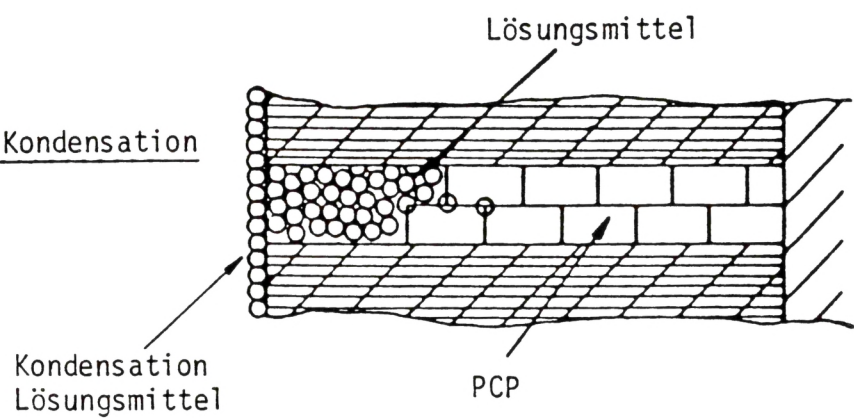
2) Zwischendrucksenkung



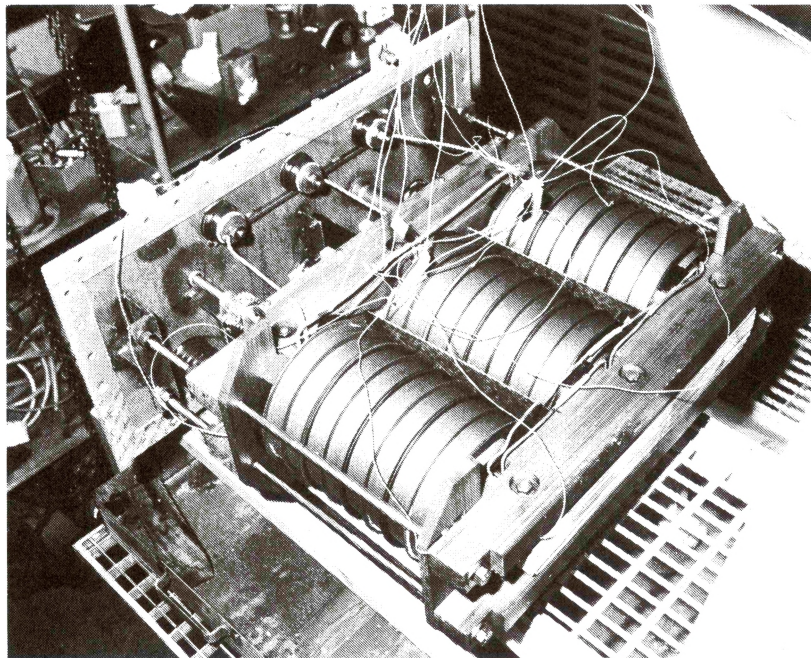
3) Ende Zwischendrucksenkung



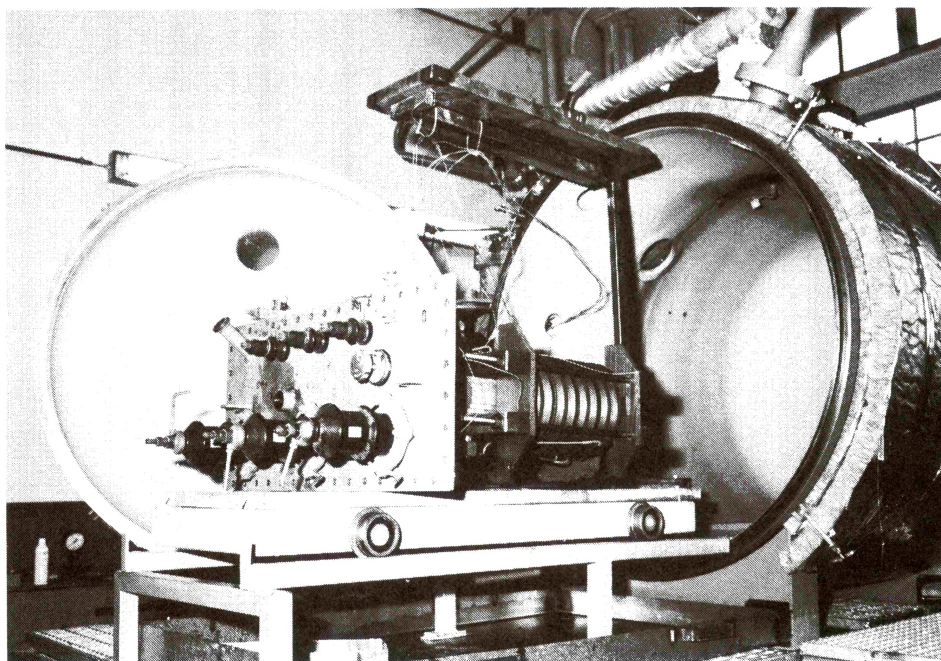
4) Aufheizung durch erneute Kondensation  
von Lösungsmittel



# Neues Verfahren zur Entsorgung PCB-haltiger Transformatoren



14847 b



14847 a