

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 81 (1990)

**Heft:** 18

**Artikel:** Erfahrungen bei der Entsorgung PCB-kontaminierter Transformatoren

**Autor:** Vetsch, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903163>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Erfahrungen bei der Entsorgung PCB-kontaminierter Transformatoren

R. Vetsch

**Bereits im Bulletin SEV/VSE Nr. 2/1989 schilderte der Autor Erfahrungen aus der Praxis der Entsorgung von PCB-kontaminierten Transformatoren. Der folgende Beitrag beschreibt die Ergebnisse der inzwischen durchgeführten Untersuchungen. Diese bestätigen die Erkenntnis, dass nur eine Analyse jedes einzelnen Transformators darüber Auskunft geben kann, ob er kein PCB enthält.**

**L'auteur a déjà présenté dans le Bulletin ASE/UCS n° 2/1989 certaines expériences faites à propos de l'élimination de transformateurs contenant du PCB. L'article suivant décrit les résultats des analyses qui ont été réalisées entre-temps. Ils confirment le fait que seule une analyse de chaque transformateur permet de savoir s'il contient du PCB ou non.**

## Analyse jedes einzelnen Transformators unerlässlich

Warum und welche PCB-haltigen Apparate entsorgt werden müssen, ist allgemein bekannt. Unterdessen dürften auch die bei der Herstellung mit diesem Dielektrika gefüllten und beschrifteten sowie dem Besitzer bekannten Apparate nach Vorschrift erfasst, mit Warntafeln bezeichnet und den zuständigen Ämtern gemeldet worden sein.

Welche Transformatoren aber können ohne unser Wissen mit PCB kontaminiert sein, und wie kann man das feststellen? Auf diese Frage gibt es nach den neuesten Erkenntnissen eine klare Antwort: mit einer sorgfältig durchgeführten Ölprobe.

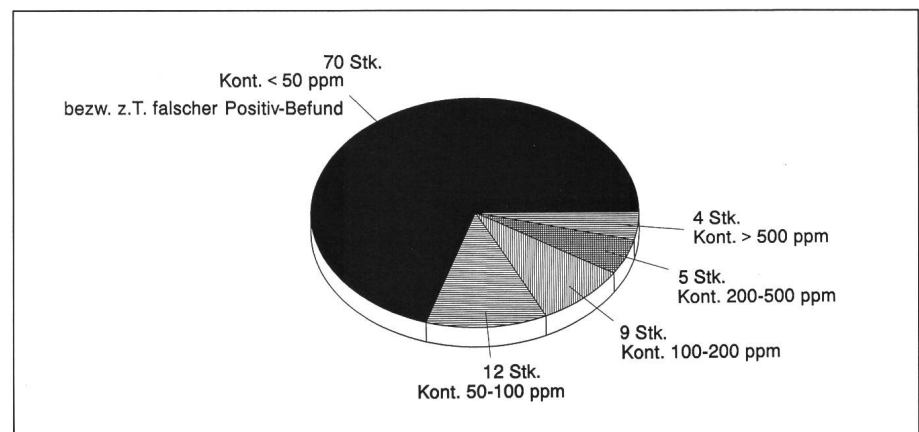
Die bei solchen Untersuchungen gesammelten Erfahrungen in den vergangenen Monaten bestätigen dies.

Transformatoren, die zwischen dem Ende der 50er Jahre und 1983 in der Schweiz gebaut wurden – bei ausländischen Fabrikaten schon in früheren Jahren – oder die bis zum heutigen Datum revidiert oder bei denen Öl nachgefüllt wurde, können PCB-kontami-

nierte Öle enthalten. Es können also Transformatoren sein, bei welchen das Öl gewechselt, aufbereitet oder – wenn auch nur in kleinen Mengen – nachgefüllt worden ist. Einigermassen sicher bezüglich PCB-Freiheit kann man nur bei Transformatoren sein, welche nach 1983 gebaut wurden und bei denen mit Sicherheit nie ein Reserveöl unbekannter Qualität nachgefüllt wurde.

Die Hersteller von Transformatoren haben seit 1983 nur noch PCB-freies Öl verwendet. Sie kennen Qualität und Eigenschaften ihrer Transformatoröle. Beim verantwortlichen Sachbearbeiter eines Werkes oder Industriebetriebes kann dies anders aussehen. Vollerort stehen Gebinde mit Öl für das Nachfüllen der Transformatoren bereit, dessen genaue Zusammensetzung, nicht immer mit Sicherheit bekannt ist. Zuständigkeitsänderungen und Stellenwechsel beim Personal usw. tragen ihren Teil zu dieser Unsicherheit bei.

Der Servicebetrieb der Industriellen Betriebe Aarau (EWA) prüft im Rahmen seines Transformatoren-Unterhaltungsdienstes in der ganzen Schweiz Öle auf ihren Zustand und ob sie PCB enthalten. Bild 1 zeigt die Prüfungsre-

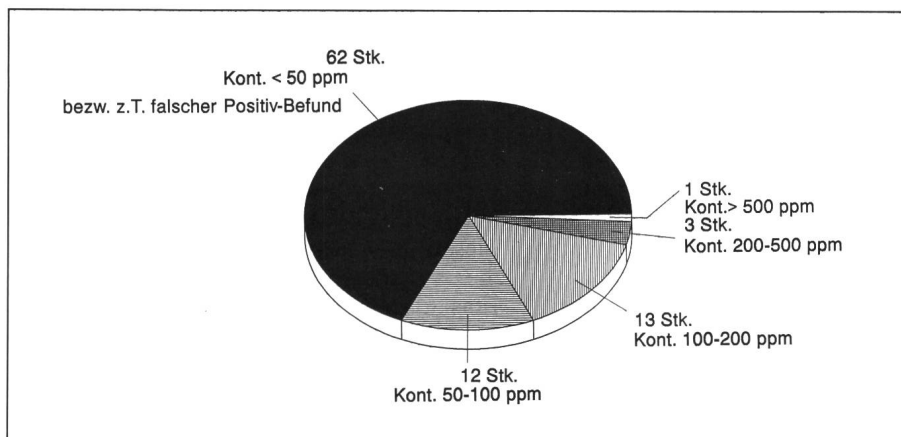


**Bild 1 Ergebnisse der PCB-Tests 1989**

Es wurden insgesamt 1210 Proben kolorimetrisch geprüft. Die gaschromatographische Nachprüfung von 100 Proben (kontaminiert bzw. mit Positiv-Anzeige) ergab die folgende Aufteilung

### Adresse des Autors

Robert Vetsch, Leiter Servicebetriebe, Industrielle Betriebe Aarau (EWA), Obere Vorstadt 37, 5001 Aarau



**Bild 2 Ergebnisse der PCB-Tests 1. Halbjahr 1990**

Es wurden insgesamt 1180 Proben kolorimetrisch geprüft. Die gaschromatographische Nachprüfung von 91 Proben (kontaminiert bzw. mit Positiv-Anzeige) ergab die folgende Aufteilung

sultate im Jahre 1989. Es wurden total 1210 Transformatorenöle kolorimetrisch auf einen möglichen Gehalt von chlorhaltigen Produkten wie PCB geprüft. 100 Proben (8,3%) zeigten positive Werte, d.h. die Öle waren echt mit PCB kontaminiert. Einige täuschten einen erhöhten PCB-Gehalt vor, die Nachprüfung ergab jedoch, dass es sich um andere Organo-Chlor-Verbindungen handelte.

Die 100 kritischen Öle wurden dann in einer zweiten Prüfung gaschromatographisch analysiert. Das Resultat ist interessant:

- 70 Proben wiesen weniger als 50 ppm PCB (mg pro kg Flüssigkeit) auf und sind folglich nicht zu beanstanden.
- 12 Proben lagen im Bereich zwischen 50 und 100 ppm PCB-Kontamination.
- 9 Proben lagen im Bereich zwischen 100 und 200 ppm PCB-Kontamination.
- 5 Proben lagen im Bereich zwischen 200 und 500 ppm PCB-Kontamination.
- 4 Proben zeigten mehr als 500 ppm PCB-Kontamination auf.

Diese Ergebnisse bestätigen eindeutig die früher gemachten Schätzungen, wonach etwa 2,5% aller Transformatoren eine Ölfüllung aufweisen, die mit mehr als 50 ppm PCB kontaminiert ist.

Bild 2 zeigt die Prüfungsergebnisse vom ersten Halbjahr 1990. Die Zahlen sind ähnlich wie die im Jahr 1989 registrierten. Besonders zu beachten ist, dass wiederum etwa 2,5% aller geprüften Transformator-Ölfüllungen mit mehr als 50 ppm PCB kontaminiert waren und es zum Teil auch heute noch sind.

So sehr eine einfachere Kontrollmöglichkeit als die Ölanalyse jedes einzelnen Transformators erwünscht wäre: Die bisherigen Erfahrungen sprechen gegen eine solche Vereinfachung. Warum, ist aus den nachfolgenden Praxisbeispielen zu entnehmen.

- Bei einem Kunden wurden bei mehr als 100 Ölproben nach der kolorimetrischen Methode acht mit PCB kontaminierte Öle in Transformatoren gefunden. Bei der anschliessend durchgeführten gaschromatographischen Analyse zeigten fünf Öle Werte von über 50 ppm bis 3900 ppm PCB. Zwei dieser Transformatoren mit PCB-kon-

nigen mit der Nummer vorher und der Nummer nachher Öle zur Analyse entnommen. Das Resultat war in diesem Fall wie erwartet: Noch neun weitere Transformatoren aus der gleichen Serie wie der mit 3900 ppm PCB-kontaminierte zeigten ebenfalls Werte bis 470 ppm PCB. Mit einem gezielten Test konnten in diesem Falle also weitere PCB-kontaminierte Öle gefunden werden.

- In anderen Fällen hatte diese Methode jedoch keinen Erfolg. So wurde etwa ein mit Mineralöl gefüllter, mit mehr als 2500 ppm PCB-kontaminierter Transformator aus einer grösseren Bestellung festgestellt, der der einzige dieser Serie war, alle weiteren waren PCB-frei.

- Wieder an einem anderen Ort wurden bei einem Total von 20 Transformatoren deren 9 mit PCB-kontaminierten Ölen gefunden. Einer von diesen 9 Transformatoren hatte den Jahrgang 1942, d.h. die Original-Ölfüllung konnte nur ein Mineralöl sein.

## Kontaminierungsmöglichkeiten gibt es viele

Ganz generell ist daher festzustellen:

- Alle Fabrikate und Baugrößen der verschiedensten Jahrgänge können PCB-kontaminiert sein.
- Prüfungen nur von Stichproben genügen keinesfalls.
- Nur eine seriöse Prüfung jedes Transformators gibt absolute Sicher-

## Grobanalyse von PCB

Nebst gravimetrischer Bestimmungsmethode gelangt im Servicebetrieb EWA in der ersten Phase der Farbtest «Dexil PCB-Screening Kit» zum Einsatz. Das Verfahren beruht auf dem Beilstein-Test, wobei laut Gebrauchsanweisung eine violett-blaue Verfärbung der Reaktionslösung anzeigt, dass im untersuchten Öl ein Gehalt von mehr als 50 ppm PCB vorliegt. Diese Methode kann als *Grob-Analyse* bezeichnet werden. Nach den gemachten Erfahrungen und durchgeführten Nachkontrollen liefert der Test keine falsch/negativen Ergebnisse.

Wie auch in der Gebrauchsanweisung vermerkt, können dagegen falsch/positive Befunde nicht ausgeschlossen werden. Diese treten allenfalls dann auf, wenn andere Organo-Chlor-Verbindungen einen erhöhten PCB-Gehalt vortäuschen. Die Tests unterliegen einer Alterung. Nach dem Verfalldatum verwendet, ist das Prüfergebnat unsicher. In letzter Zeit wurden Testsets zu Billigpreisen angeboten, deren Verfalldatum abgelaufen war. Die Industriellen Betriebe Aarau garantieren für einwandfreie Produkte.

taminiertem Öl hatten die gleiche Fabrikations-Nummer, jedoch wie üblich einen anderen Index. Daraufhin wurden bei allen weiteren Transformatoren dieser Bestellung (gleiche Nummer, andere Indizes) und denje-

heit, ob das Öl PCB-frei oder mit weniger als 50 ppm PCB-kontaminiert ist.

- Der Lagerbestand an Reserveöl muss ebenfalls unbedingt gewissenhaft geprüft werden.
- Auch das Öl, welches für Schalter

verwendet wird, kann kontaminiert sein.

– Beim Zusammenschütten von Restbeständen an Trafo-Ölen liegt oft der Grund bei den festgestellten Öl-Verseuchungen.

## Was macht man mit PCB-verseuchten Transformatoren?

Reinigen im Retrofilling-Verfahren ist die eine, Entsorgen die andere Möglichkeit. Letztere bietet auch im Hinblick auf die tieferen Eisen- und Kupferverluste von modernen Transformatoren oft wesentliche Vorteile.

Bei Transformatoren, die eine PCB-Kontamination von über 600 ppm aufweisen, muss in der Regel noch zur Totalentsorgung geraten werden. Allerdings führt das EWA derzeit mit der Partnerfirma ETI (Umweltschutztechnik) AG Reinigungsversuche an mit bis zu 1000 ppm PCB-verschmutzten Transformatoren durch. Basierend auf den Erfahrungen von Retrofillings an reinen PCB-Transformatoren in den USA und Europa wurden die Verfahren an die Anwendung bei <1000 ppm PCB-kontaminierten Transformatoren angepasst und weiterentwickelt. Es kann erwartet werden, dass mit dem EWA-ETI-Reinigungsverfahren deren Aktivteile und Kessel nicht mehr entsorgt werden müssen.

### Hochtemperatur-Entsorgung

Bei PCB-Entsorgungen über die Partnerbetriebe ETI/EWA werden die Kühlflüssigkeiten zumeist vor Ort mit Spezialpumpen und entsprechenden Schlauchsystemen in UN-geprüfte Stahlblech-Spundfässer abgepumpt, um eine grösstmögliche Sicherheit während des Transportes zu gewährleisten.

Nach Ankunft der Sonderabfälle in der Behandlungsanlage der Rechem in Pontypool, Grossbritannien, wird zuerst kontrolliert, ob die angelieferten Stoffe der Deklaration entsprechen. Die Rechem hat sich auf die thermische Zerstörung von PCB und seinen Zersetzungsprodukten spezialisiert, unter anderem wurden dort auch die dioxinhaltigen Abfälle aus PCB-Unfällen in den Kantonen Glarus, Zürich und Neuenburg entsorgt. Die Flüssigkeiten werden über geschlossene Systeme entweder direkt aus den Fässern oder über Tanks in den Ofen eingespeist. Die Transformatoren werden in einem speziell eingerichteten Gebäude in 1 m<sup>3</sup>-Stücke zerlegt und

für eine anhand des Kontaminierungsgrades festgelegte Zeitdauer in den statischen Ofen geführt. Die intakt angelieferten Kondensatoren werden über einem Gitterrost mit Auffangbecken und integrierter Saugpumpe punktiert, und das ausfliessende Öl wird über die entsprechenden Tanks ebenfalls in den Ofen eingespritzt. Die verbleibenden Feststoffe werden analog den Trafoteilen durch den computergesteuerten Verbrennungsprozess bei 1100 bis 1200 °C ausgeglüht.

Alle beim Verbrennungsprozess entstehenden Gase werden über den Nachbrenner in die komplizierte, auf

### Entsorgungsfirmen

Zur Entsorgung von PCB-kontaminierten Apparaten bieten verschiedene Unternehmen ihre Dienstleistungen an. Eine Liste der zugelassenen Firmen ist vom Buwal, Bern, erhältlich.

Der wichtigste Partnerbetrieb der EWA im Bereich Umweltschutz/Entsorgung ist die in Landquart domizilierte ETI (Umweltschutztechnik) AG. Die 1982 gegründete Schweizer Unternehmung ist spezialisiert auf Analytik, Beratung und umweltgerechte Entsorgung von Industrie- und Gewerbeabfällen. Zudem bieten die Partnerbetriebe gemeinsam eine breite Produktpalette für Instandhalter, Industrie, Gewerbe und Feuerwehren an.

dem neuesten Stand der Technik arbeitende Gasreinigungsanlage geleitet. Die Effizienz der Hochtemperatur-Verbrennungsanlage beträgt 99,9999%.

Die Feststoffe können nach der thermischen Behandlung wieder rezykliert werden. Derzeit bedeutet dieser Entsorgungsweg die einzige endgültige und umweltgerechte Lösung der PCB-Entsorgungsproblematik. Die Alternative dazu bietet einzig die Einlagerung der mit Silikat gefüllten Trafokörper in einem deutschen Salzbergwerk.

Werden in absehbarer Zeit die «Endlager» – allein in der Untertage-Deponie in Deutschland sind es unterdessen mehr als 18 000 Transformatoren – ausgeräumt und die Metallteile wieder in den Produktionsprozess eingebracht? Dieses Vorgehen dürfte bald einmal umweltpolitisch nicht zu umgehen sein, auch wenn Aufwand und Ertrag bei den heutigen Kupferpreisen noch kaum ausgeglichen sein werden.

### Neu:

#### Niedertemperatur-Recyclingverfahren

Grosse Beachtung findet unterdessen eine neue Methode der Feststoff-Entsorgung. Sie befindet sich bald einmal am Ende der Testphase. In einer Kleinanlage sind bereits erste elektrische Komponenten erfolgreich PCB-frei gemacht worden und müssen nicht mehr endgelagert oder in einem Hochtemperaturofen ausgeglüht werden (siehe Kasten).

#### Reinigen im Retrofilling-Verfahren

Bei diesem Vorgang wird das PCB-kontaminierte Transformatorenöl abgepumpt und in einem Hochtemperaturofen verbrannt. Der Aktivteil und das Gehäuse können nach einer gründlichen Reinigung weiterhin verwendet werden, und neues Mineralöl wird eingefüllt. Spülen und Auswechseln des Öles genügen jedoch nicht. PCB-kontaminierte Hölzer, Papiere, Isolationen usw. und nicht zuletzt die Blechpakete müssen bei diesem Vor-



**Bild 3** Die Dekontamination eines PCB-verseuchten Transformators erfordert ein äusserst sorgfältiges Vorgehen.

gang auf besondere Art behandelt werden. Das Retrofilling-Reinigungs-Verfahren ist kostengünstiger als ein Ersatz. Die PCB-Kontamination kann endgültig auf unter 10 ppm gebracht werden. Es dürfen jedoch die Eisen- und Kupferverluste bei der Weiterverwendung der alten Komponenten nicht ausser acht gelassen werden.

## Ein neues Verfahren zur Entsorgung von PCB-Transformatoren

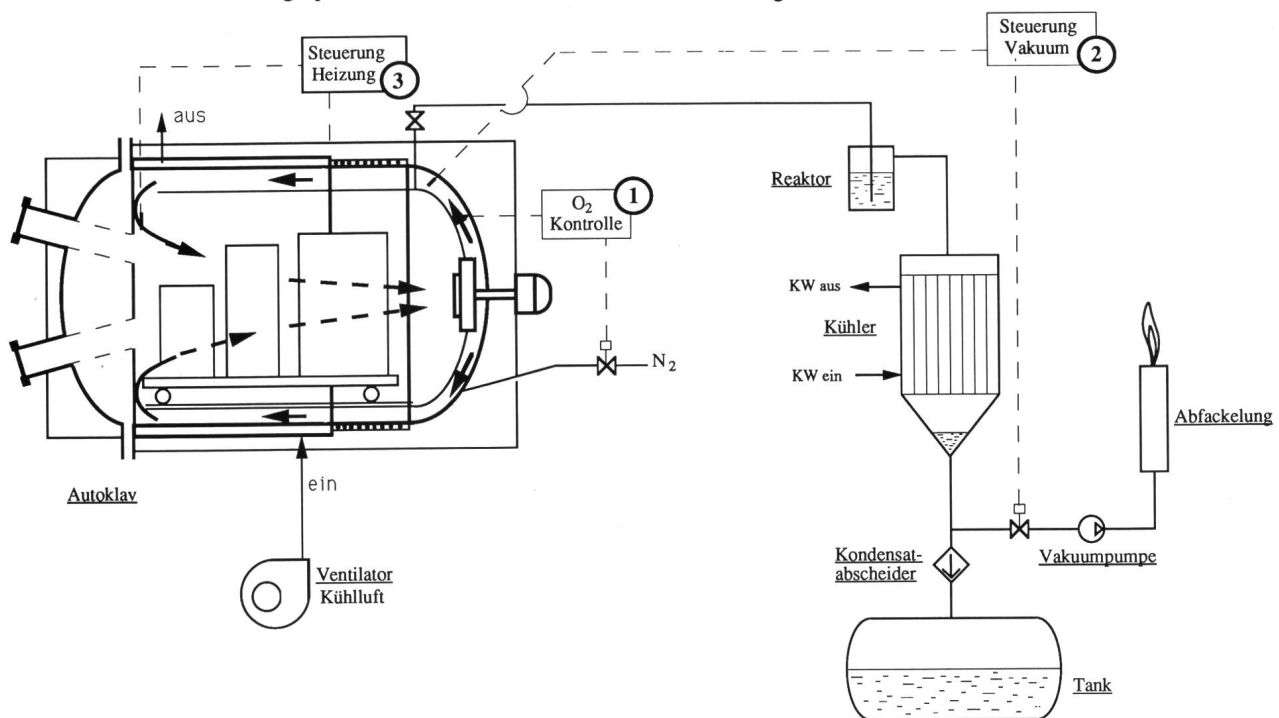
Dem von ABB entwickelten LTR-(Low Temperature Recycling) Verfahren lag die Überlegung zugrunde, ein kostengünstiges Verfahren zu entwickeln, bei dem die PCBs vollständig zerstört werden, die Metalle recycelt werden können und keine anderen problematischen Stoffe, gasförmig oder fest, entstehen.

Die Funktionsweise soll anhand untenstehender Prinzipskizze erläutert werden. Wie bisher üblich, wird zuerst das PCB abgelassen und zur Hochtemperatur-Verbrennung gebracht. Der entleerte Transformator wird dann in den Autoklaven gestellt. Dieser wird so lange mit N<sub>2</sub> gespült, bis der O<sub>2</sub>-Gehalt unter 2% gesunken ist. Danach wird der Autoklav stufenweise auf eine Endtemperatur von etwa 420 °C aufgeheizt, wobei immer ein leichter Unterdruck von etwa 900 mbar aufrecht erhalten wird. Das PCB verdampft, die organischen Komponenten (Holz, Kunststoff, Papier usw.) werden zerlegt. Die entstehenden Gase werden sporadisch abgesaugt und durch einen Reaktor geleitet, in dem sich eine NaOH-Schmelze bei 400 °C befindet. In diesem Reaktor wird das Chlor vom PCB - und von eventuell vorhandenen Spuren an PCDD und PCDF - abgespalten und zu Natriumchlorid

umgesetzt, das in der Schmelze verbleibt. Die dechlorierten Gase werden in einem nachfolgenden Kühler auf etwa 20 °C abgekühlt, und das Kondensat wird in einem Tank aufgefangen. Nichtkondensierbare Gasanteile werden erst über ein Aktivkohlefilter, das auch als Sicherheitsfilter für Chlor-Durchbrüche fungiert, geleitet und dann in einer Propangasflamme nachverbrannt.

Der nach Beendigung der Behandlung anfallende Kohlenstoff (aus den organischen Komponenten) und das Kondensat, bestehend aus Wasser und Kohlenwasserstoffen, können problemlos verbrannt werden. Das Natriumchlorid (Kochsalz) ist ebenfalls problemlos. Die Metalle - Kupfer, Eisen - sind PCB-frei und können direkt dem Recycling zugeführt werden.

In umfangreichen Laborversuchen wurde die Funktionsweise des LTR-Verfahrens nachgewiesen. Derzeit ist eine Pilotanlage in Betrieb, in der komplette Transformatoren bis zu einer Grösse von etwa 125 kVA behandelt werden können. Mit diesem Verfahren können neben PCB-Transformatoren auch PCB-Kondensatoren oder andere PCB-enhaltende Anlagen umweltgerecht entsorgt werden.



## Fazit

Nach den bei Transformatorenöl-Analysen gewonnenen Erfahrungen, den Richtlinien des Buwal (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) und in der Einsicht, dass die Entsorgung nicht nur das Problem der anderen sein sollte, ist folgendes zu beachten:

Alle zu entsorgenden Öle müssen gemäss den Vorschriften der zuständigen Umweltschutzämter PCB-geprüft werden und je nach Ergebnis dann teilweise sogar mit den Feststoffen nach Vorschrift entsorgt werden. Ein

Transformator, der garantiert mit weniger als 50 ppm PCB-kontaminiert ist, darf über das Jahr 1998 hinaus im Einsatz stehen. Je nach den Richtwerten - Empfehlung Buwal oder Festlegungen der kantonalen Umweltschutzämter - muss und sollte er unbedingt fachgerecht und nach Vorschrift entsorgt werden, auch wenn er mit weniger als 50 ppm PCB-kontaminiert ist.

Nach eigenen Schätzungen aufgrund der statistischen Zahlen der Jahre 1989 und 1990 dürften in der Schweiz noch  
 - etwa 1000 mit mehr als 50 ppm PCB-kontaminierte und

- etwa 2300 mit weniger als 50 ppm PCB-kontaminierte, aber nicht PCB-freie Transformatoren im Einsatz oder am Lager sein.

Zurzeit sind viele dieser Geräte noch nicht identifiziert. Im Falle eines PCB-Unfalles oder bei einem Brand (bei 350-800 °C können sich Dioxine und Furane PCDD/PCDF bilden) sind nicht abschätzbare Umweltprobleme und enorme Kosten zu erwarten. Die vorsorgliche Prüfung der Öle und Entsorgung von PCB-haltigen Transformatoren ist auf jeden Fall kostengünstiger als die nachträgliche Beseitigung der Folgen eines Schadens.