

Entsorgung von PCB-kontaminierten Geräten

Dr. -Ing. E. Reinwald, ABB Service Dortmund

1. Zusammenfassung

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden wegen ihrer hervorragenden technischen Eigenschaften seit den 50iger Jahren in den unterschiedlichsten elektrischen Betriebsmitteln als Isolierflüssigkeit eingesetzt. Aufgrund fortschreitender Erkenntnisse über die umweltschädliche Wirkung von PCB wurde im Jahre 1983 die Herstellung in der Bundesrepublik eingestellt. Bereits 1984 verabschiedete die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall ein Merkblatt zur Entsorgung PCB-haltiger Abfälle. 1989 wurde dann durch die Verabschiebung der PCB-Verbotsverordnung eine entsprechende EG-Richtlinie umgesetzt wurde. Die PCB-Verbotsverordnung untersagt die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von PCB in der Bundesrepublik, wobei der letzte Punkt dahingehend zu konkretisieren ist, daß ab Ende 1999 keine mit PCB-kontaminierten Geräte mehr betrieben werden dürfen. Um der besonderen Gefährdung von Mensch und Umwelt durch die PCB Rechnung zu tragen, hat der Gesetzgeber zusätzlich eine Fülle von aufeinanderbauenden Verordnungen zur Entsorgung erlassen. Diese Vorschriften regeln etwa den Arbeitsschutz oder den Transport der PCB-kontaminierten Geräte. Dabei wird besonders berücksichtigt, daß praktisch alle PCB-haltigen Geräte gleichzeitig auch Dioxine oder Furane enthalten können. Die hochaktuelle Brisanz dieser Ultragifte kommt erneut in der Verschärfung der Dioxinverordnung vom Januar 1993 zum Ausdruck.

Der Besitzer solcher "Altlasten" sieht sich mit einer Flut von Vorschriften aus den Bereichen Gefahrstoffverordnung, Abfallgesetz und Gefahrgutverordnung konfrontiert.

Der Beitrag wird über eine toxikologische Bewertung hinaus über die rechtliche Regelung bei der Entsorgung über die Probennahme, Nachweis und Analytik sowie über verschiedene Entsorgungstechnologien von PCB-haltigen Erzeugnissen informieren.

2. PCB-Problem

2.1. Historie

Polychlorierte Biphenyle sind tri- und höher chlorierte aromatische Verbindungen, die seit Ende 1929 in industriellem Maßstab für technische Anwendungen hergestellt und eingesetzt wurden. Je nach Anzahl und Lage der Chloratome sind theoretisch 209 Isomere möglich. In technischen PCB-Gemischen lassen sich bis zu ca. 80 individuelle Substanzen nachweisen.

Wegen ihrer hervorragenden elektrischen und technischen Eigenschaften, etwa der schweren Entflammbarkeit, der hohen Wärmeleitfähigkeit, der guten Alterungsbeständigkeit und ihrer weitgehenden Mischbarkeit mit Harzen und Wachsen, fanden sie besonders seit den 50er Jahren weite Verbreitung. Neben der Verwendung in der Farben- und Lackindustrie lag ein großes Anwendungsfeld der PCB in ihrem Einsatz als Kühl- und Isolierflüssigkeiten in elektrischen Betriebsmitteln wie Transformatoren und Kondensatoren. Angaben über die weltweit hergestellten PCB beruhen auf Schätzungen und werden auf über 1.000.000 Tonnen beziffert. Bis heute sind PCB in vielen Baustoffen sowie in zahlreichen älteren Produkten der Elektrotechnik breit gestreut im Einsatz.

2.2. Toxikologische Einordnung

Neben diesen positiven Eigenschaften wurde erst spät erkannt, daß PCB ein großes ökologisches Gefährdungspotential darstellen. Die durch PCB bedingte Kontamination der Umwelt wurde 36 Jahre nach der Produktionsaufnahme, im Jahr 1966, durch den Schweden S. Jensen entdeckt. Es folgte bis in die 80iger Jahre hinein eine Flut von Veröffentlichungen.

Zwar ist die akute Giftigkeit im Kontakt für den Menschen nur als gering. Die gute chemische Beständigkeit und Fettlöslichkeit führt jedoch zur kritischen Kumulierung in der Umwelt. In Baden Württemberg wurde in den Jahren 1987/88 bei insgesamt 1000 Proben von tierischen Lebensmitteln (ohne Milch) bei der Hälfte PCB nachgewiesen. Über die Anreicherung in der Nahrungskette können sich PCB dann im menschlichen Fettgewebe, besonders in Leber und Milz, ablagern und Hormon-, Immun- oder Stoffwechselstörungen hervorrufen. Das Risikopotential von PCB wurde besonders durch die "Yusho-Krankheit" - ausgelöst durch PCB kontaminiertes Reisöl - 1968 in Japan aufgezeigt. Die heute in der Bundesrepublik Deutschland noch nachweisbaren Rückstandswerte liegen im internationalen Vergleich sehr hoch. Dies erklärt sich aus der Tatsache, daß 24 % der PCB in offenen Anwendungen verbraucht wurden.

Noch gefährlicher sind PCB aber durch ihre Eigenschaft, potentiell Dioxine und Furane zu bilden. Diese Ultragifte können bei thermischer Beanspruchung der PCB im Bereich von 300°C bis 1000°C entstehen, wenn gleichzeitig Luftsauerstoff vorhanden ist. Hier sei z.B. an den Brandschaden eines Transformators im State Office Building von Binghamton im Mai 1981 (USA) erinnert, bei dem ein ganzes Gebäude durch dioxinhaltige Brandgase kontaminiert wurde. Diese Gefahr besteht bei allen Anwendungen.

3. Rechtliche Regelungen

3.1. Zur Gesetzeslage

Wegen der Gefahren für Mensch und Umwelt sind eine Reihe von rechtlichen Bestimmungen auf der Grundlage des Abfall-, Chemikalien- und Immissionsschutzrechtes erlassen worden.

Bereits 1984 verabschiedete die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) ein Merkblatt zur Entsorgung PCB-haltiger Abfälle, das bis heute die wesentlichen Abläufe bei der Entsorgung beschreibt. 1989 wurde dann die PCB-Verbotsverordnung (PCB-VV) verabschiedet, die eine entsprechende EG-Richtlinie effektiv umsetzt. Der bis dahin gültige PCB-Grenzwert der 10. BImSchV wird auf ein Zwanzigstel herabgesetzt. Die PCB-VV untersagt die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von PCB in der Bundesrepublik, wobei der letzte Punkt dahingehend zu konkretisieren ist, daß durch eine befristete Ausnahme erst ab Ende 1999 keine mit PCB-kontaminierten Geräte mehr betrieben werden dürfen.

Unter den zur Entsorgung anstehenden Abfällen sind im Sinne der PCB-VV alle festen und flüssigen Stoffe zu verstehen, deren Gehalt an PCB mehr als 50 mg/kg (nach LAGA, d.h. 10 mg/kg nach DIN 51527 * 5) enthalten. Weiterhin sind alle PCB-haltigen Geräte mit mehr als 5 Liter Inhalt dauerhaft zu kennzeichnen.

Neben der Entsorgung ist für kontaminierte Geräte bis 2000 ppm eine einmalige Neubefüllung mit PCB-freiem Isoliermedium zulässig, wenn eine dauerhafte Unterschreitung des gesetzlichen Grenzwertes sichergestellt ist. Alle anderen Geräte, d.h. größer 2000 ppm PCB, müssen ohne Ausnahme innerhalb der Übergangsfrist als Sonderabfall entsorgt werden. Nach der Außerbetriebnahme unterliegen solche Geräte der abfallrechtlichen Überwachung. Einer novellierten Fassung der PCB-VV wird es ab Ende dieses Jahres erlauben, daß zugelassene Fachfirmen durch physikalisch-chemische Reinigung auch höher kontaminierte Geräte (> 2000 ppm) einer Reinigung unterziehen dürfen, um einen Weiterbetrieb über das Jahr 2000 hinaus zu sichern.

Um der besonderen Gefährdung von Mensch und Umwelt durch die PCB Rechnung zu tragen, hat der Gesetzgeber zusätzlich aufeinanderbauende Verordnungen zur Entsorgung erlassen (vgl. Bild 1). Diese Vorschriften regeln etwa den Arbeitsschutz oder den Transport der PCB-kontaminierten Geräte. Dabei wird besonders berücksichtigt, daß praktisch alle PCB-haltigen Geräte gleichzeitig auch Dioxine oder Furane enthalten können. Die hochaktuelle Brisanz dieser Ultragifte kommt erneut in der Verschärfung der Dioxinverordnung vom Januar 1993 zum Ausdruck.

3.2. Nachweis von PCB

Nach der PCB-Verbotsverordnung hat der Betreiber die Pflicht nachzuweisen, daß seine Geräte frei von PCB sind bzw. der Grenzwert unterschritten ist. Der Bundesminister für Umwelt hat in Anlehnung an bestehende Regeln analytische Verfahren zur Bestimmung von

PCB bekannt gemacht. Diese finden sich auch in den Technischen Regeln Gefahrstoff (TRGS 518). Zugelassen sind danach zwei Schnelltestmethoden:

- KWIK-SCREEN und
- CLOR-N-OIL-Test

und auf Grundlage der DIN 51527 die

- gaschromatografische Analyse.

Die beiden Schnelltests sind nur für den Nachweis in Mineralöl geeignet, wobei sie jeweils auf den Chlorgehalt in der Flüssigkeit ansprechen. Dieser Chlorgehalt kann jedoch sowohl auf PCB wie auf andere Verbindungen zurückzuführen sein. Zur eindeutigen Eingrenzung ist zusätzlich eine gaschromatographische Analyse nach DIN notwendig. Bei der Analytik sind allerdings auch dann noch Abweichungen von ca. 15 % möglich.

Bild 1
Für die PCB-Entsorgung
relevante Gesetze und
Vorschriften

PCB-relevante Anforderungen gesetzlicher Regelwerke

ppm	AltölIV 27.10.87	PCB-VV 28.7.89	GGVS/E 18.6.90	GefStoffV 16.12.87	WHG 23.9.86
0	Verwertung	kein Gefahrgut normale Verschrottung möglich	kein Gefahrgut normaler Transport möglich	kein Gefahrstoff	WGK 2
20	Aufarbeitung				
50	Verbrennung zur Energie- Gewinnung	Kennzeichg. oder Ölaustausch	Klasse 9		WGK 3
500				Schutz- maßnahmen TRGS 518 + Meldung an Gewerbe- Aufsicht	
1000			Klasse 6.1 Ziff. 17a		
2000		Kennzeichg. und Entsorgung bis 1993/1999	§ 5 + § 7 der GGVS		
10 ⁵					
Askarel	ISOLIER- ÖL	TRAFO UND KONDEN- SATOR	TRANS- PORT	MITAR- BEITER	UMWELT

PCB-Gehalt in mg/kg Öl nach LAGA (= 5 x DIN 51527), vereinfacht ppm.

Darüber hinaus sind für die Entnahme und Aufbewahrung der Proben sowie für die Dokumentation der Prüfberichte gesetzliche Normen vorgeschrieben. Insbesondere die Durchführung der Probennahme hat großen Einfluß auf das Untersuchungsergebnis. Daher ist auf eine strikte Beachtung der DIN 51 750 und der Hinweise der Altölverordnung zu achten.

3.3. Umgang mit PCB haltigen Geräten

Der Besitzer von älteren ölhaltigen elektrischen Betriebsmitteln sollte sich als erstes Klarheit darüber verschaffen, ob und welche die Geräte PCB-kontaminiert sind. Dem LAGA-Merkblatt "Entsorgung von PCB-haltigen Reststoffen und Abfällen" sind entsprechende Fachfirmen zu entnehmen. Für den weiteren Umgang mit PCB-haltigen Geräten ist besonders die TRGS 518 zu beachten. Bild 2 gibt eine Auflistung der wichtigsten Arbeitsschutz-Maßnahmen für PCB.

nach TRGS 518	Wartung ohne Kontakt	Wartung mit Kontakt Undichtigkeit	Bauliche Maßnahmen	Entsorgung	Windungs- schluß oder Brandfall
Handschuhe	-	+	+	+	+
Augenschutz	-	+	+	+	+
Überschuhe	-	-	-	+	+
Schutzanzug	-	-	+	+	+
Atemschutz	-	-	-	-	+
Persönliche Schutzausrüstung					

Bild 2
Technische Regeln Gefahrstoff
518, Umgang mit PCB

Wie ernst die Gefahren beim Umgang mit PCB eingeschätzt werden, verdeutlicht auch die Transportvorschriften beim Straßen- und Eisenbahntransport. Zunächst ist ein Transport von dioxinhaltigen Gegenständen grundsätzlich nach der Gefahrgutverordnung verboten. Der Bundesverkehrsminister hat jedoch mit der Ausnahmegenehmigung E 7/89 einen Transport zugelassen, wenn ein spezieller baumusterzugelassener feuerfester Sicherheits-Container verwendet wird.

4. Bestehende Entsorgungssituation

Entsprechend der Gesetzeslage müssen alle Geräte mit einer PCB-Kontaminierung über 50 mg/kg (ppm) als überwachungsbedürftiger Abfall entsorgt werden. Die Entsorgung umfaßt Bereitstellung, Transport, Zwischenlagerung, Vorbehandlung und endgültige Behandlung bzw. Ablagerung. Für die Behandlung der verschiedenen PCB-Abfällen stehen mehrere Verfahren, der TA-Abfall entsprechend, zur Verfügung:

- Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen
- Verbrennung in anderen dafür geeigneten Anlagen (z.B. Zementindustrie)
- Vergasung (z.B. Voest Alpine)
- sonstige Behandlungen (z.B. Hydrierung, Kohle Oel Anlage)
- untertägige Einlagerung (Kali und Salz, Herfa Neurode)

Die Anforderungen an die Behandlung sind in der PCB-VV und in den LAGA-Merkblättern geregelt. Gemäß dem heutigen Stand der Technik werden dabei zunächst die PCB-haltigen Flüssigkeiten in gesetzlich genehmigten Abfallbehandlungsanlagen aus den elektrischen Betriebsmitteln abgelassen. Diese flüssigen Abfälle von rd. 3.000 Tonnen pro Jahr (siehe Bild 3) werden entweder thermisch verwertet oder hydriert. In der Bundesrepublik kann PCB in den Sonderabfallverbrennungsanlagen der GSB (Ebenhausen), der BASF (Ludwigshafen) und der Bayer AG (Leverkusen) vernichtet werden. Die emissionsseitigen Anforderungen bei der Verbrennung werden von der TA-Luft (1986) bzw. der BImSchV geregelt. Danach muß die Verbrennung bei einer Mindesttemperatur von 1200 °C und bei einer Verweilzeit von zwei Sekunden stattfinden. Neuerdings gibt es auch Techniken, bei denen PCB als Rohstoff zur PVC-Herstellung genutzt werden können.

Es ist unvermeidbar, daß PCB-haltige Restmengen der Kühlflüssigkeit im porösen Isoliermaterial oder in engen Hohlräumen der Betriebsmittel zurückbleiben. Als Erfahrungswert gilt für Transformatoren eine Restflüssigkeit von 5 Prozent. Das sind gerade einmal 1,5 Prozent des Gesamtgewichts. Trotz dieser geringen Restmenge PCB müssen die kontaminierten Gehäuse mit einem Aufsaugmittel gefüllt und fest verschlossen in der Untertagedeponie (UTD) in Herfa-Neurode endgelagert werden. Ein Einschmelzen der kontaminierten Metalle kommt nicht in Frage, weil beim Erhitzen Dioxine und Furane entstehen können. In der Bundesrepublik fallen dadurch jährlich 9.000 Tonnen bisher nicht recyclebarer, hochgiftiger Feststoffe aus elektrischen Betriebsmitteln an.

Welche wertvollen Sekundärrohstoffe (Aluminium, Kupfer und Stahl) so dem Wirtschaftskreislauf entzogen werden, zeigt exemplarisch die Massenbilanz für einen typischen Transformator, der zu 70 Prozent aus Metallen besteht (vgl. Bild 3, linke Seite). Zusätzlich werden mit diesen Abfällen potentielle Altlasten produziert und knapper Deponieraum vergeudet.

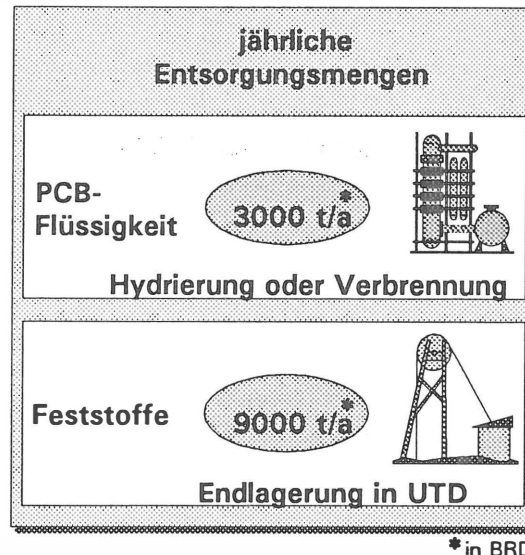
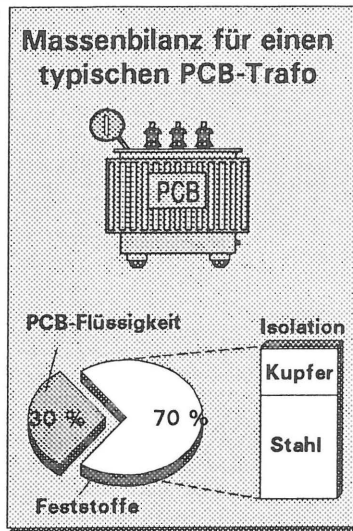


Bild 3
Jährlich in der Bundesrepublik anfallende PCB-Mengen
Massenbilanz für typischen PCB-Abfall (Transformator)

Der aus ökologischen sowie volkswirtschaftlichen Gründen unbefriedigende Zustand der Deponierung wird bei der Betrachtung der bisher gegebenen Abfallbilanz (Bild 4) deutlich.

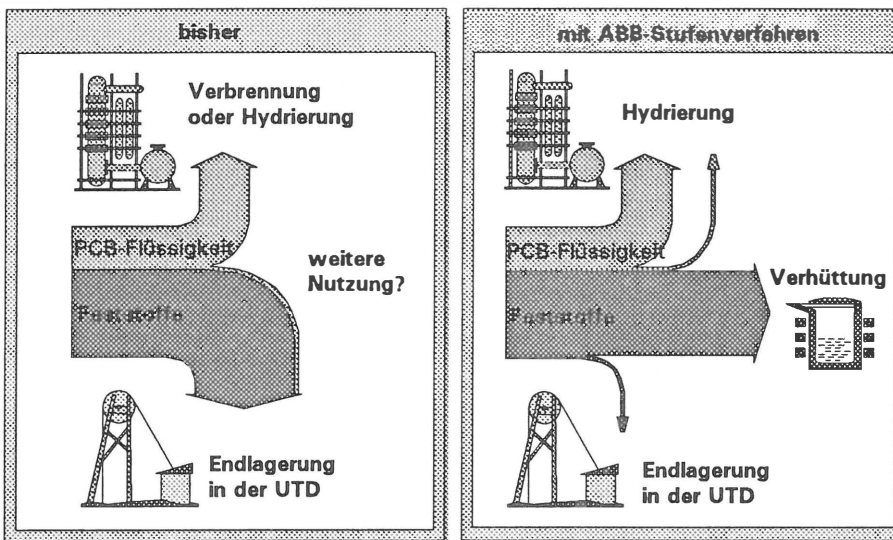


Bild 4
Abfallbilanz bei der PCB-Entsorgung

5. Forschungsaktivitäten bei ABB

Im Bewußtsein dieser problematischen Entsorgungssituation hat ABB bereits seit dem Herstellungsstop für PCB zu Beginn der 80er Jahre intensiv nach Alternativen zur Endlagerung von Feststoffen in der Untertagedeponie geforscht. Im Mittelpunkt der Überlegungen stand dabei die Einsicht, daß für eine reguläre Verschrottung der kontaminierten metallischen Feststoffe ein vorgeschaltetes Herauslösen der verbliebenen PCB-Verunreinigungen in Gehäusen und Spulen der elektrischen Betriebsmittel erforderlich wäre.

Im Verlauf der Entwicklung einer Technik zur Wiederverwertung PCB-haltigen Feststoffe wurden daher Kenntnisse über geeignete Reinigungsmittel, Diffusionsvorgänge in unterschiedlichen Materialien, Behandlungstemperaturen sowie Dauer und Parameter der zur Dekontaminierung benötigten Prozeßabläufe als Grundlage einer wirtschaftlich arbeitenden Abfallbehandlung gewonnen. Darüber hinaus wurden ergänzende Techniken wie z.B. Ultraschall oder das LTR-Verfahren (Low Temperature Recycling) entwickelt.

5.1. ABB-Stufenverfahren

Auf diesen Grundlagen aufbauend wird jetzt als letzte Phase der Forschungsarbeiten mit Unterstützung des Bundesministeriums für Forschung und Technik (BMFT) das sogenannte ABB-Stufenverfahren realisiert. Im Sinne der ökologisch empfehlenswerten Kreislaufwirtschaft soll mit dieser neuen Technologie erstmalig ein geschlossener und damit für die Umwelt schonender Stoffkreislauf ermöglicht werden, der die im Produkt enthaltene Wertschöpfung durch einen hohen Verwertungsgrad auf hohem Niveau erhält. Die eingeleiteten Arbeiten sind eine Zusammenführung der seit Mitte der 80er Jahre im Labormaßstab gewonnen Kenntnisse. Sie stellen die Basis für die industrielle Umsetzung dar.

Das ABB-Stufenverfahren ist ein auf die Charakteristik der jeweiligen Bauteile abgestimmtes, in drei Phasen arbeitendes Reinigungsverfahren. Es ermöglicht eine energiesparende und wirtschaftliche Trennung des Werkstoffverbunds in einem elektrischen Betriebsmittel, wobei die restlichen noch anhaftenden PCB bis an die Nachweisgrenze entfernt werden (siehe Bild 5).

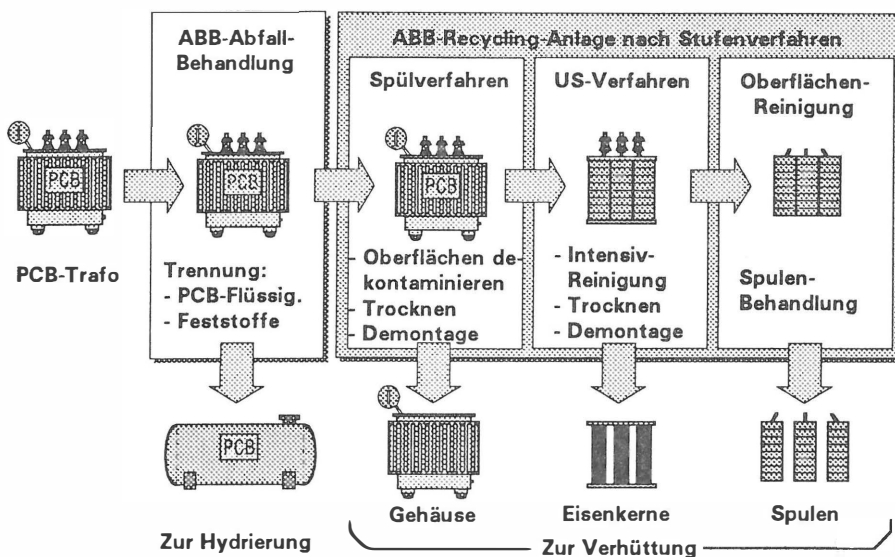


Bild 5
ABB-Stufenverfahren zum Recyclen von PCB haltigen Abfällen

Zunächst wird das aus sicherheitstechnischen Erwägungen hermetisch abgeschlossene Reinigungsgut mit einem Lösungsmittel durchgespült. Anschließend ist ein Trocknungsprozeß geschaltet, der eine gefahrlose Demontage sicherstellt. Eine patentierte Anordnung der Spülboxen ermöglicht einen wirtschaftlichen Lösungsmiteleinsatz und optimale Reinigungswirkung. Das beim Spülvorgang herausgelöste PCB wird durch kontinuierliche destillative Aufbereitung vom Lösungsmittel getrennt und der regulären Entsorgung zugeführt. In einem zweiten Schritt werden problematische Einbauten (z.B. Blechpakete des Aktivteils) einer Intensivreinigung unterzogen. Anschließend sind die übrig gebliebenen porösen Einbauten (z.B. papierisierte Spulen) durch das unter Inertgasatmosphäre und Unterdruck ablaufende LTR-Verfahren zu entgiften. Das LTR-Verfahren ist eine Entwicklung des ABB-Forschungszentrums in der Schweiz. Alle Verfahrensschritte sollen nicht nur die restlose Entfernung des PCB gewährleisten, sondern selbstverständlich auch dafür sorgen, daß keine anderen problematischen Reststoffe entstehen.

Die so gereinigten Materialien können nun wiederverwertet und z.B. als sortenreine Ausgangsstoffe zur Herstellung von Grundstoffen verwendet werden. Allein die Betriebshilfsstoffe wandern zur Sicherheit in die Untertagedeponie. Damit entfallen 98 Prozent der bisher in der Untertagedeponie endzulagernden kontaminierten Feststoffabfälle aus PCB-haltigen elektrischen Apparaten (vgl. Bild 4 Abfallbilanz).

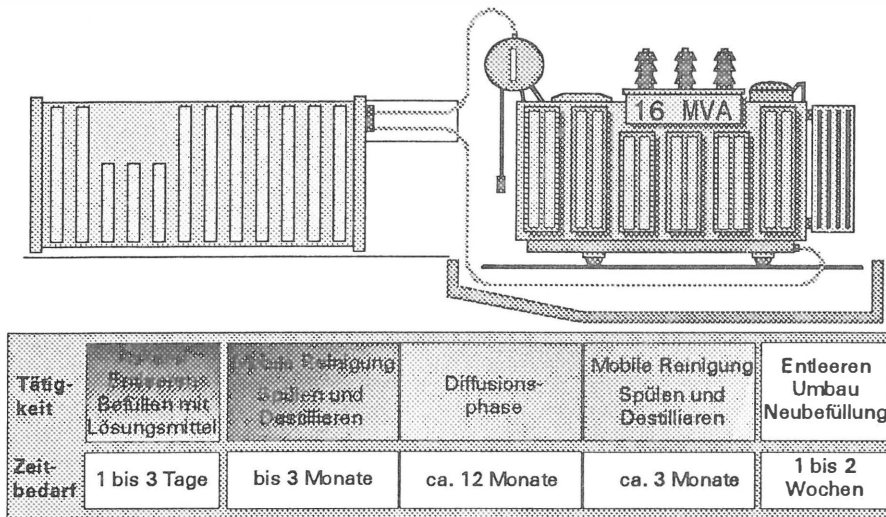


Bild 6
Ablauf der mobilen Reinigung

Innerhalb des Forschungsvorhabens wird auch die Möglichkeit geprüft, die bereits eingelagerten Metalle von ca. 20.000 Transformatoren mit dem ABB-Stufenverfahren zu recyceln und damit als Sekundärrohstoffe zurückzugewinnen.

Das ABB-Stufenverfahren soll Mitte nächsten Jahres erstmals in Betrieb gehen. Die zum Betrieb der geplanten Anlage mit speziellen Sicherheitsvorkehrungen ausgerüstete Halle wurde bereits Anfang des Jahres fertiggestellt. Die Destillationsanlage befindet sich im Aufbau.

5.2. ABB-Mobile-Reinigung

Sozusagen als "Nebenprodukt" der bisherigen Forschungen entstand darüber hinaus ein zweites neues Reinigungs-Verfahren, mit dem größere oder spezielle PCB-haltige Transformatoren mit hoher verbleibender Gebrauchsdauer auch über das Jahr 1999 hinaus betrieben werden können. Hauptziel dieses sogenannten Retrofillings oder "Mobilen Reinigens" ist die Dekontaminierung der Transformatoren am ursprünglichen Standort. Diese Form der Dekontaminierung per mobiler Anlage wird in der in Kürze in Kraft tretenden novellierten Fassung der PCB-Verbotsverordnung berücksichtigt.

Den Behandlungsablauf verdeutlicht Bild 6. Beim "Mobilen Reinigen" wird das PCB-haltige Isolieröl gegen eine spezielle Ersatzflüssigkeit ausgetauscht, die neben ausreichenden elektrischen Eigenschaften ein gutes Reinigungsverhalten aufweist. Diese kann neben der Reinigungswirkung die Isolationseigenschaften wie auch die Kühlfunktion des Isoliermediums substituieren. Dadurch ist während der Behandlung zumindest für Transformatoren bis Oberspannungen von 30 kV ein problemloser Weiterbetrieb möglich. Im Anschluß an diese maximal dreitägige Vorbereitung, wird die mobile Reinigungsanlage (MRA) an Ausdehner und Ölabblass des Transformators angeschlossen. Das Lösungsmittel wird nun kontinuierlich durch den Transformator gespült und in der MRA destillativ aufbereitet, d.h. das aus dem Transformator herausgelöste PCB wird von dem Reinigungsmittel getrennt und in einem Gefäß zur Entsorgung gesammelt. Je nach Größe und Bauform des Transformators

dauert diese Phase bis zu drei Monaten, wobei von 100 Prozent Rest-PCB (5 % der ursprünglichen Füllung) am Ende der Spülbehandlung nur noch 0,2 Prozent verbleiben. Die Entfernung dieser auf das Füllvolumen bezogen marginalen Restmenge ist ausschließlich von zeitabhängigen Diffusionsvorgängen bestimmt. In der Diffusionsphase kann auf die Mobile Anlage verzichtet werden, da eine Aufbereitung des Lösungsmittels zur Aufrechterhaltung einer Konzentrationsdifferenz wegen der geringen Restmengen an PCB nicht mehr notwendig ist. Nachdem die Isolationsmaterialien und Verspannungshölzer im Transformator ausreichend vom PCB ausgelaugt sind, wird das Spülmedium ein letztes Mal aufbereitet, um es gefahrlos als PCB-freie Flüssigkeit zu einem weiteren Einsatz transportieren zu können. Nach dem Entleeren des Reinigungsmittels am Ende der Behandlung werden durch einen Trocknungsprozeß die letzten Reste aus dem Gehäuse entfernt. Nach Abschluß der Behandlung kann der Transformator gegebenenfalls für einen neuen Einsatz gefahrlos überholt werden.

Beim mobilen Reinigen handelt es sich um eine prinzipiell einfache Technik, deren physikalische Effekte und Komponenten sich bereits bei zahlreichen Anwendungen in anderen Einsatzgebieten bewährt haben. Die Anlage gliedert sich in eine Spüleinheit, die ein temperiertes Durchspülen des Trafos mit Lösungsmittel sicherstellt und in eine Destillations-einheit, die dem Lösungsmittel das aus dem Transformator gewaschene PCB entzieht, d.h. das im Reinigungsfluid gelöste PCB wird extrahiert und für die anschließende Entsorgung zwischengelagert. Die Spüleinheit ist mit einer Stützheizung versehen, damit eine möglichst konstante und hohe Temperatur des Transformators unabhängig von der Eigenerwärmung im Lastbetrieb erreicht wird. Kern der Anlage ist die destillative Aufbereitung des Lösungsmittels. Zur Schonung des Lösungsmittels wird es beim ABB-Verfahren mit einer Vakuumanlage vom PCB befreit. Die Destillattemperatur entspricht dabei der optimalen Behandlungstemperatur für den Transformator.

Spezielle Vakuumdestillation mit Wärmekopplung ermöglicht ein energiesparendes und schonendes Aufbereiten des Lösungsmittels. Durch redundante Sicherheitseinrichtungen ist ein vollautomatischer sicherer Betrieb möglich. Die Reinigung eines Transformators dauert mit dieser Technik je nach Größe und Bauart ca. 18 Monate. Besondere Anforderungen an die Anlage ergeben sich aus dem Umgang mit dem Gefahrstoff PCB. Deshalb sind alle flüssigkeitsführenden Komponenten über einer automatisch überwachten Bodenwanne installiert. Weitere Sensoren erkennen Leckagen in dem Gesamtsystem Trafo - Mobile Reinigungsanlage und überwachen Betriebstemperatur und Druck. Kommt es zu Störungen im automatisierten Betrieb, wird eine Meldung an eine Überwachungsinstanz, z.B. eine Warte, geleitet. Die gesamte Anlagentechnik ist als geschlossenes System ausgelegt, so daß keine umweltschädlichen Immissionen entstehen können. Dieses begutachtete Sicherheitskonzept ermöglicht einen gefahrlosen Betrieb.

Der anlagentechnische Aufwand, die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen sowie die lange Behandlungszeit machen diese Technik nur für größere Spezialtransformatoren mit noch hoher verbleibender Gebrauchsdauer wirtschaftlich interessant. Für die Masse der älteren PCB-haltigen Transformatoren wird das ABB-Stufenverfahren die wirtschaftlichere Recyclingtechnik darstellen.

6. Entsorgungsmöglichkeiten, Randbedingungen

Für den Betreiber von PCB-haltiger Betriebsmittel ergeben sich unter Berücksichtigung der neuen Techniken folgende Handlungs-Optionen:

- Weiterbetrieb bis 1999, d.h. das Risiko der PCB-Gefahr managen
- Entsorgen und Ersatz
- Recyclen und Ersatz
- Dekontaminierung durch mobiles Reinigen und Weiterbetrieb

Eine sinnvolle Entscheidungsfindung für die einzelnen Handlungsalternativen ist nur durch Betrachtung aller Möglichkeiten zu erreichen. Daher sollte vor der Anwendung der soeben vorgestellten Entsorgungsmöglichkeit eine differenzierte Kosten-Nutzen Betrachtung vorge-schaltet und mit den vorhandenen Entsorgungswegen in Vergleich gesetzt werden.

Oberstes Kriterium zur Entscheidungsfindung dürfte für alle Kunden die effektive Risiko- Ko-stensituation und die Verfügbarkeit sein. So wird die Recyclingtechnik erst ab nächstem Jahr zur Verfügung stehen.

Insbesondere beim mobilen Reinigen ist wegen der wassergefährdenden Eigenschaft des Lösungsmittels die teure Bodensicherung zu berücksichtigen. Da außerdem eine hoch-wertige Anlagentechnik zum Einsatz kommt, sind nicht unerhebliche Abschreibungskosten zu bedenken. Weiterhin müssen im Zusammenhang mit der Umrüstung einige indirekte Kosten berücksichtigt werden. So entstehen Kosten für den laborativen Nachweis der Grenzwertunterschreitung. Ferner können die Betriebskosten, resultierend aus älterer Trans-formatortechnik, höher liegen. Aber auch organisatorische Kosten zur Überwachung während der Reinigung sind in der Bilanz zu berücksichtigen. Alle diese Gründe machen eine pauschale Empfehlung nahezu unmöglich.

Die folgende Zusammenstellung der Beurteilungskriterien für eine Kosten-Nutzen-Analyse soll dem Anwender eine systematisierte Hilfe bei der Entscheidungsfindung sein.

- technischer Zustand
 - Funktion
 - Wirkungsgrad
- wirtschaftliche Beurteilung
 - Restwert
 - Wiederbeschaffung
- betriebstechnische Daten
 - Verfügbarkeit
 - Zugänglichkeit
 - Brandschutz

Für das mobile Reinigen kann z.B. als erste Abschätzung je nach Randbedingungen und Größe des Trafos bis 75 % der Kosten aus Neubeschaffung und Entsorgung kalkuliert werden. Dabei ist wegen der vorgestellten Komplexität der Behandlung eine Beratung in jedem Einzelfall sinnvoll.

7. Ausblick

Die z. Zt. bei ABB optimierten Technologien versprechen eine umweltverträgliche und ressourcenschonende Wiederverwertung von Feststoffabfällen aus elektrischen Betriebsmitteln sowie eine kontrollierte, sachgerechte Vernichtung von Giftstoffen. Der bisherige Sonderabfall kann als Sekundärrohstoff weiterverwendet werden. Die Kapazität der Untertagedeponie wird entscheidend entlastet. Die verbleibende Sonderabfallmenge reduziert sich auf 2 Prozent.

Diese Verbesserungen zeigen sich auch in einer Gegenüberstellung der Abfallbilanzen zwischen dem bisherigen und dem neuen Verfahren (siehe Bild 4). Während bisher der Feststoffanteil elektrischer Betriebsmittel von ca. 70 Prozent nur wegen einer Kontamination durch 1,5 Prozent PCB zum Sonderabfall wird, können die Metalle in Zukunft vom Rest-PCB befreit vollständig wiederverwertet werden. Die neuen ABB-Technologien können mit der UTD auch kostenmäßig konkurrieren. Sie stellen somit eine echte Alternative für eine saubere Umwelt dar.