

**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:** 78 (1987)

**Heft:** 10

**Artikel:** Die Entsorgung von Abfällen aus der Sicht einer Entsorgungsfirma

**Autor:** Daester, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903864>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.04.2026

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

# Die Entsorgung von Abfällen aus der Sicht einer Entsorgungsfirma

H. Daester

**Bei der Entsorgung von Sonderabfällen besteht zurzeit in der Schweiz ein akuter Engpass. Der Beitrag schildert die derzeitige Situation und die Zukunftsperspektiven. Mit Schwerpunkt auf PCB-haltigen Transformatoren und Kondensatoren gibt der Autor ferner Hinweise auf die Entsorgung problematischer Stoffe und Geräte aus Elektrizitätswerken.**

## 1. Was sind Sonderabfälle?

Als Sonderabfälle gelten die Abfälle, welche aufgrund ihrer physikalischen oder chemischen Eigenschaften nicht zusammen mit den Haushaltsabfällen gesammelt und vernichtet oder mit dem Abwasser den Kläranlagen zugeführt werden können.

Sie bedürfen einer besonderen Vorbehandlung oder Vernichtung. So dürfen z. B. Lösungsmittel wegen ihrer Explosionsgefahr nicht den Haushaltsabfällen beigegeben werden; oder giftige Abwässer dürfen nicht in die Kanalisation abgeleitet werden, weil dadurch die Biologie der Kläranlage zerstört würde.

Die wichtigsten Kategorien und deren Mengen pro Jahr sind in Tabelle I grössenordnungsmässig zusammengefasst. Der Anteil Sonderabfälle aus Elektrizitätswerken macht davon nur

einen Bruchteil aus. Der Anteil Sonderabfälle am gesamten Abfallanfall der Schweiz ist in Figur 1 dargestellt.

Die Verarbeitung der Sonderabfälle kann gemäss den in Figur 2 angegebenen Kategorien erfolgen.

Als prinzipieller Grundsatz zur Unschädlichmachung von Sonderabfällen gilt es, die Stoffe in eine Form überzuführen, welche nach ihrer Wiederverbringung in unsere Umwelt (Luft, Boden, Wasser) auf diese keinen schädlichen Einfluss mehr ausüben kann.

In der Chemie unterscheidet man prinzipiell zwei verschiedene Stoffgruppen, nämlich *anorganische Verbindungen* und *organische Verbindungen*. Erstere bestehen aus einer endlichen Anzahl von Verbindungen aller bekannten Elemente (etwa 100), während bei letzteren eine nahezu unendliche Anzahl von Verbindungen denkbar ist, welche sich zur Hauptsache aus den drei Elementen C, H und O zusammensetzen. Entsprechend unterschiedlich muss deren Unschädlichmachung vorgenommen werden.

### ● Anorganische Stoffe (Mineralstoffe)

Diese Verbindungen lassen sich in der Regel durch Verbrennung nicht zerstören. Es ist jedoch möglich, durch chemische Reaktionen giftige Verbindungen in ungiftige überzuführen.

So werden z. B. Schwermetallverbindungen durch Zugabe von basischen Stoffen als sogenannte Metallhydroxide ausgefällt. Diese weisen eine schlechte Wasserlöslichkeit auf und eignen sich deshalb zur Ablagerung in speziellen Deponien. Diese *Sondermülldeponien* sind so konstruiert, dass die Niederschläge von den abgelagerten Stoffen ferngehalten werden. Zudem wird der Untergrund der Deponie durch bauliche Massnahmen vollständig abgedichtet und das sich eventuell doch noch ansammelnde Sickerwasser

	etwa Tonnen pro Jahr
Anorganische Lösungen	70 000
Elektrofilteraschen und Rückstände aus Rauchgasreinigung	50 000
Lösungsmittel	60 000
Öle	50 000
Ölabscheiderschlämme	60 000
Strassensammlergut	40 000
Ölverschmutzte Erde	20 000
Transformatoren / Kondensatoren	1 000
Bleiakkumulatoren	12 000
Leuchtstoffröhren, Metalldampflampen	2 500
Batterien	5 000
<b>Total</b>	<b>300 000–400 000</b>

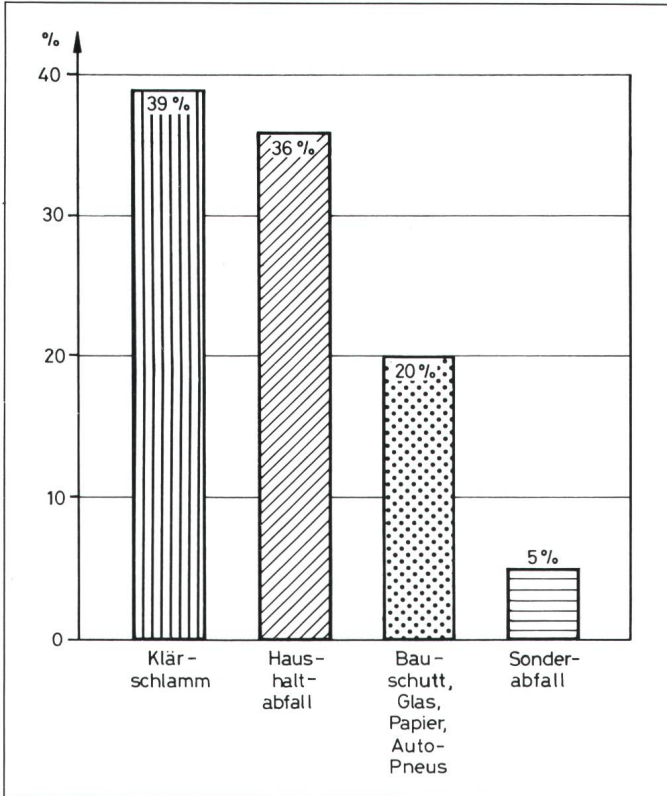
Quelle: Erhebung über Sonderabfälle in der Schweiz des Bundesamtes für Umweltschutz, Februar 1987

**Tabelle I Die wichtigsten Kategorien und Mengen von Sonderabfällen in der Schweiz**

Leicht gekürzte Fassung eines Referates, gehalten anlässlich der VSE-Diskussionsversammlung «Die Entsorgung von Abfällen bei Elektrizitätswerken» am 26. März 1987 in Luzern.

#### Adresse des Autors

Dr. Henri Daester, Direktor Fairtec AG, 5300 Turgi



**Figur 1**  
Anfall verschiedener Abfallarten in der Schweiz

Diese Mineralisierung der organischen Stoffe hat eine beträchtliche Verminderung des Abfallvolumens zur Folge.

Die anfallende Schlacke aus dem Verbrennungsprozess ist so stark ausgeglüht, dass sie in eine Sonderabfalldeponie verbracht werden kann.

## 2. Vernichtungsmöglichkeiten in der Schweiz

Die ersten sichtbaren Auswirkungen unserer zunehmenden Industrialisierung zeigten sich in den fünfziger Jahren in unseren Gewässern. In der Folge entstand 1955 ein erstes, unvollständiges Gewässerschutzgesetz. Aber erst 1971 konnte die endgültige Fassung und 1972 die entsprechende Verordnung in Kraft gesetzt werden. Wie der Name schon sagt, ging es bei dem Gesetz in erster Linie um den Schutz unserer Gewässer und unseres Trinkwassers. Die übrigen Lebensräume (Luft,

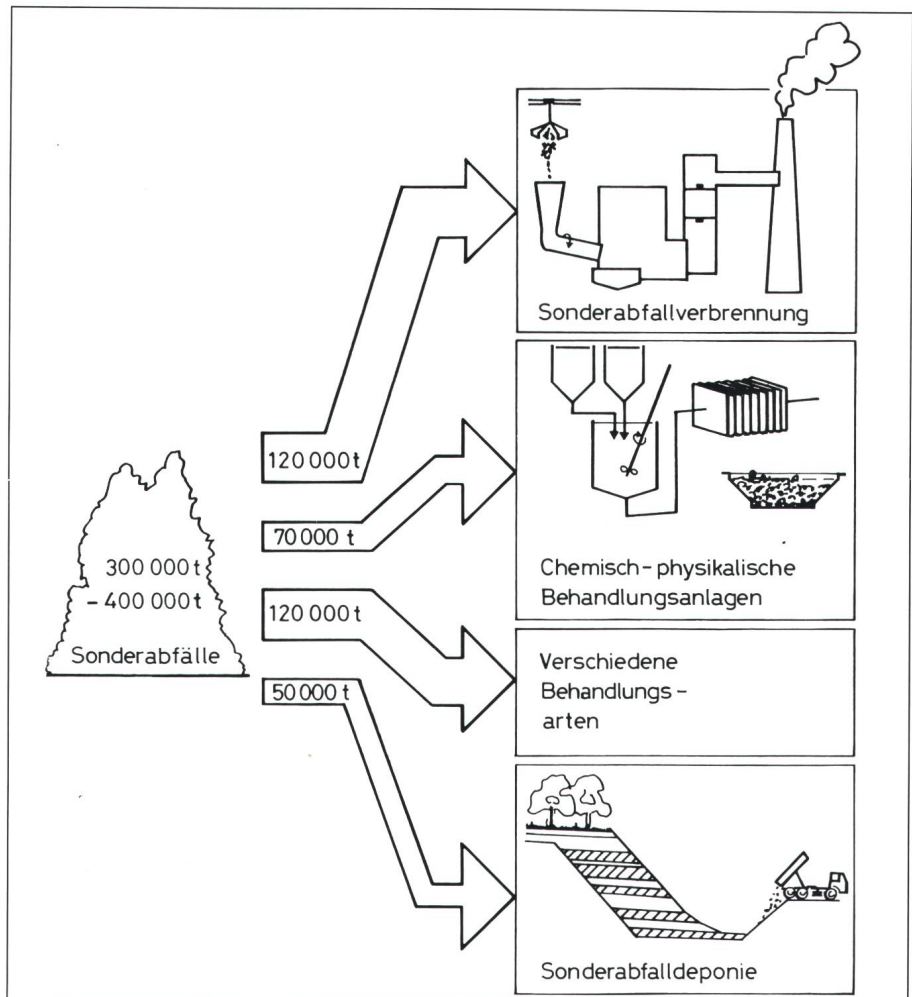
gefasst und in speziellen Kläranlagen nachbehandelt.

### ● Organische Stoffe

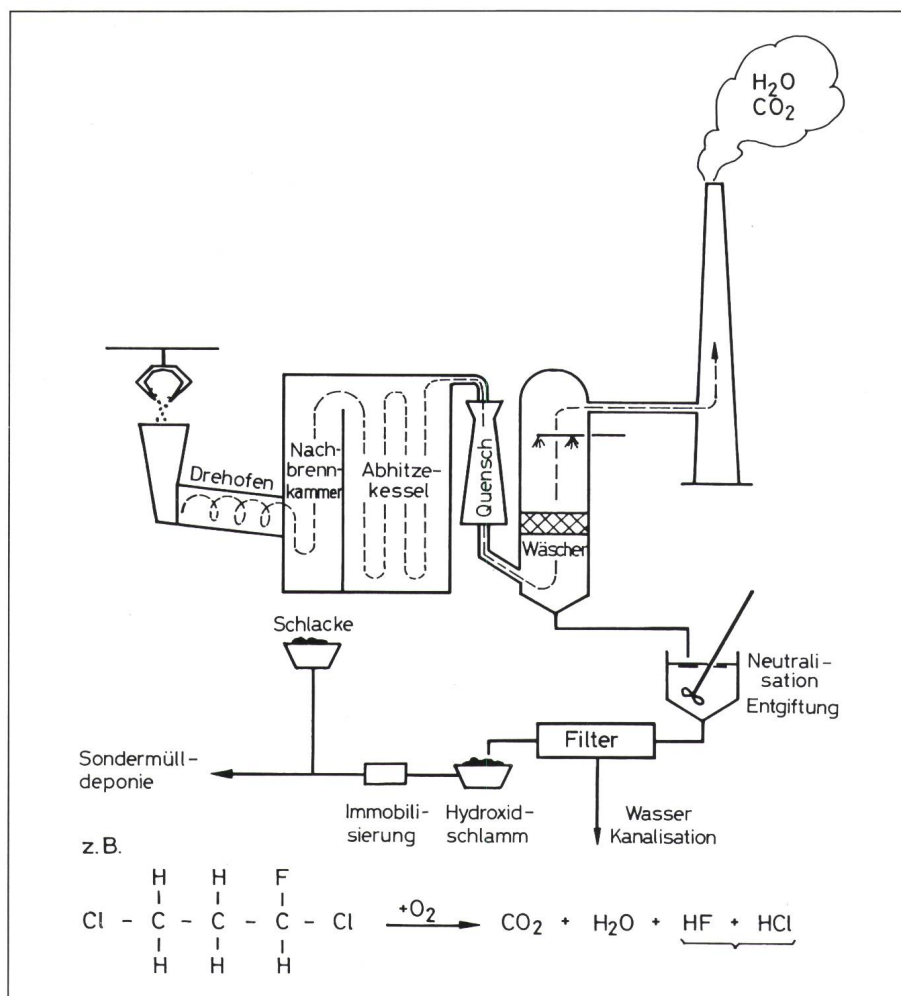
Man schätzt, dass sich von den über 500 000 bekannten Verbindungen heute weit über 45 000 künstlich hergestellte organische Stoffe im täglichen Gebrauch befinden.

Diese können durch *Verbrennung* (Oxidation) in ihre ursprünglichen Bestandteile aufgespalten werden.

Die langkettigen, künstlich hergestellten und z.T. auch natürlich vorkommenden Moleküle werden bei hohen Temperaturen (1000–1400 °C) und bei langen Verweilzeiten in speziellen Verbrennungsöfen in ihre Bestandteile aufgespalten (Fig. 3). Dabei entstehen nebst den harmlosen und ungiftigen Spaltgasen CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O auch NO<sub>2</sub> und andere anorganische Verbindungen, wie HCl, HF und Schwermetalloxide, welche als solche für die Umwelt wiederum schädlich sind. Die Rauchgase werden deshalb einem Waschprozess unterzogen und von diesen Schadstoffen befreit. Die gelösten Schadstoffe werden aus dem Waschwasser als unlösliche Stoffe ausgefällt und auf eine Sondermülldeponie verbracht oder als lösliche (aber unschädliche) Salze (z. B. NaCl) in unsere Flüsse abgeleitet.



**Figur 2** Aufteilung der Sonderabfälle auf verschiedene Verarbeitungskategorien



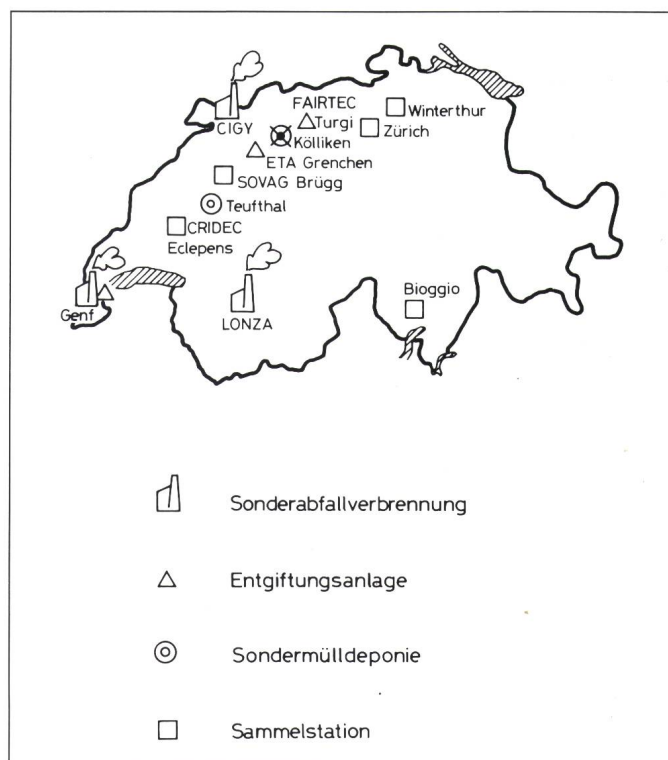
Figur 3 Schema der Sondermüllverbrennung

Boden) wurden dadurch nur ungenügend geschützt. Diesem Gesetz ist es aber zu verdanken, dass heute wenigstens ein Teil der Sonderabfälle, nämlich die anorganischen Bäder und Spülwasser, innerhalb unserer Landesgrenzen befriedigend behandelt werden können. Für diese Abfälle existieren auch genügend Behandlungsanlagen, sei es direkt in den betroffenen Betrieben oder in regionalen Behandlungszentren (z. B. in Turgi). Was hingegen die restliche Sonderabfallpalette anbelangt, sieht es düster aus!

So existieren zurzeit nur folgende Sonderabfallverbrennungsanlagen, welche in der Lage sind, nebst flüssigen Abfallstoffen auch pastöse und feste Abfälle umweltgerecht zu verbrennen (Fig. 4).

Eine Anlage ist die der Ciba-Geigy in Basel (sie wurde durch die Verbrennung der Seveso-Abfälle bekannt). Sie steht aber nur den Basler Chemiebetrieben zur Verfügung. Ebenso befin-

Figur 4 Bestehende Anlagen zur Behandlung von Sonderabfällen in der Schweiz



det sich eine moderne Anlage bei der Lonza in Visp.

Eine weitere Anlage gehört dem Kanton Genf. Eine Erweiterung der Anlage zur Annahme von Abfällen aus anderen Kantonen wird zurzeit diskutiert.

Bei den Sondermülldeponien sieht es nicht besser aus. Die einzige, öffentlich zugängliche Deponie in Kölliken musste 1985 unter Druck der Gemeinde und der Behörden ihre Tore schliessen und wird zurzeit saniert.

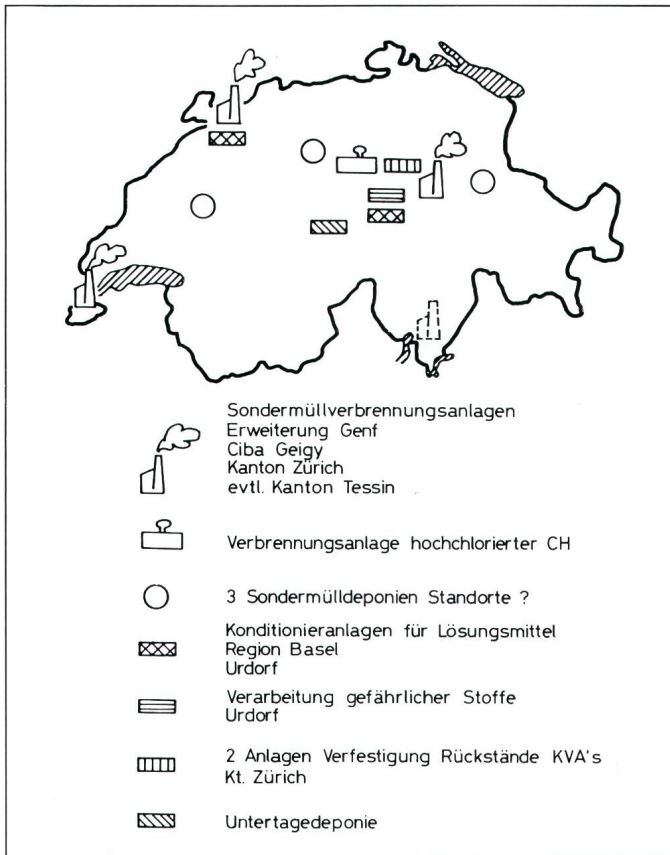
Eine weitere, spezielle Sondermülldeponie im Teufthal im Kanton Bern gehört der Basler Chemie und ist vor allem für deren Belange zugeschnitten.

Dieser Notstand an Behandlungs- und Vernichtungsanlagen führt dazu, dass der grösste Teil der Sonderabfälle aus der Schweiz ins Ausland abgeschoben werden muss.

Die Hauptexportländer sind Frankreich, die Bundesrepublik Deutschland sowie die DDR und neuerdings Bulgarien, England und Spanien.

Es ist aber ein offenes Geheimnis, dass gerade Deutschland zurzeit selbst in einer enormen Abfallkrise steckt und seinerseits den grössten Teil seiner Abfälle nach Frankreich oder in die DDR exportieren muss.

Was würde ein Importstopp unserer Nachbarländer für die Schweizer Industrie bedeuten? Erste Erfahrungen



**Figur 5**  
Erforderliche weitere Anlagen zur Behandlung von Sonderabfällen in der Schweiz

Hauptumweltbelastung darstellen. Mit einer Rücklauftrate von über 80% hat ihr Anteil im Kehricht stark abgenommen. Heute sind es die mengenmässig immer stärker zunehmenden *Alkali/Mangan-Batterien*, welche die Hauptlast an Quecksilber in den Kehricht bringen (Tab. II). Bei der Verbrennung verdampft das Quecksilber und gelangt mit den Rauchgasen feinstverteilt in unsere Nahrung. Oder es gelangt über das Sickerwasser unserer Hausmülldeponien in unsere Flüsse und unser Grundwasser.

Die eingesammelten Batterien werden zurzeit noch in Sondermülldeponien abgelagert. Aber bereits in absehbarer Zeit wird die Fairtec Turgi eine Anlage in Betrieb nehmen, in welcher die Batterien aufgerissen und zerkleinert werden, die enthaltenen Schadstoffe aufgelöst und anschliessend als unbedenkliche, unlösliche Hydroxide ausgeschieden und immobilisiert werden. Diese werden dann schlussendlich auf einer Sondermülldeponie abgelagert. Ein Recycling der Inhaltstoffe erscheint zur Zeit nicht wirtschaftlich.

konnte man nach der Schliessung von Kölliken sammeln. Damals stapelten sich die Abfälle tonnenweise in den Hinterhöfen unserer Industriebetriebe. Der Preis für die Entsorgung spielte keine Rolle mehr, wichtiger war die gesicherte Entsorgung geworden. Eine Entsorgungskrise scheint zur Zeit für verschiedene Stoffkategorien unvermeidlich. Wenn man sieht, wie schlep-pend sich heute Bauvorhaben für den Umweltschutz realisieren lassen (infolge Standortabklärungen, Umweltver-träglichkeitsprüfung usw.) so sind die in Figur 5 aufgeführten, für die Schweizer Abfallszene unerlässlichen Projekte und Bauten nicht vor 5-10 Jahren realierbar. Und was bis dann geschehen soll...?

Von den fehlenden Einrichtungen sind aber heute lediglich 10% in der Vorprojektphase!

### 3. Beispiele von Problemstoffen

Welche Sonderabfälle entstehen nun im Zusammenhang mit der Elektrowirtschaft und wie sind sie zu entsorgen?

● Als erste Gruppe sind hier die verschiedenen *Batterien* zu nennen. Nebst den wiederaufladbaren Blei-Akkumulatoren, bei welchen sich im Lauf der letzten Jahre ein Recycling einge-spielt hat, haben vor allem infolge der Elektronikindustrie die Hochlei-stungskleinbatterien stark zugenom-men.

Hier gilt es zu berücksichtigen, dass heute nicht mehr die kleinen Knopf-zellenbatterien mit ihrem hohen Quecksilber-Anteil von 33% die

● Eine weitere Kategorie sind die *Leuchtstoffröhren*. Obschon diese während des Gebrauches sich als äusserst umweltfreundlich erweisen (weniger Stromverbrauch, längere Lebensdauer), bedeuten sie bei unsachge-mässer Entsorgung ein Umweltbelas-tung. Der Schwermetallanteil der Leucht-schicht sowie das metallische Quecksilber und Natrium bedürfen einer sachgerechten Beseitigung der Röhren. Beim Fairtec-Verfahren wer-den die Leuchtstoffröhren in einer ge-schlossenen Apparatur zerschlagen, wobei die freiwerdenden Gase in einer Aktivkohlereinigungsanlage gereinigt werden.

	Mengen*	Markt-anteil*	Gehalt an Queck-silber	Mengen-anteil	Rücklauftrate	Quecksilber-abgabe an Umwelt
	t	%	%	t	%	t
Knopfzellen	13	0,2	33,0	4,3	80	0,86
Alkali/Mangan	1500	29,9	0,5	7,5	} etwa 25	} 5,6
Kohle/Zink	3500	69,9	0,01	0,35		
Total	~ 5000			~ 12		~ 6

\* Schätzungen des BUS 1985 Anfall Schweiz

**Tabelle II** Geschätzter Anfall von Quecksilber aus Trockenbatterien

Aus dem Glasbruch werden die Metallteile abgetrennt und nach einem Waschprozess dem Metallrecycling zugeführt. In einem Lösebad wird dem Glasbruch die Leuchtstoffschicht weg gelöst. Nach dem Durchlaufen einer Nachwäsche wird auch das Glas dem Glasrecycling zugeführt.

Das mit den Schadstoffen behaftete Lösebad sowie die Waschwässer werden der Entgiftungsanlage zugeführt und durchlaufen einen komplizierten Entgiftungsprozess. Die schliesslich anfallenden, unbedenklichen und unlöslichen Hydroxide werden nach der Immobilisierung in einer Sondermülldeponie abgelagert.

- **Kunststoffisolationen** von Kabeln werden heute in Spezialanlagen mit Rauchgasreinigung abgebrannt und das Cu dem Altmetall zugeführt. Nach einem anderen Verfahren werden die Kabel sehr stark abgekühlt, geschreddert und die Isolationen abgetrennt.

- Mit Holzschutzmitteln imprägnierte *Holzstangen* könnten z. B. durch Abschälen der kontaminierten Aussenschicht «entgiftet» und anschliessend verbrannt werden. Die abgeschälten Späne würden extrahiert und die Schadstofflösungen einer Immobilisierungsanlage zugeführt.

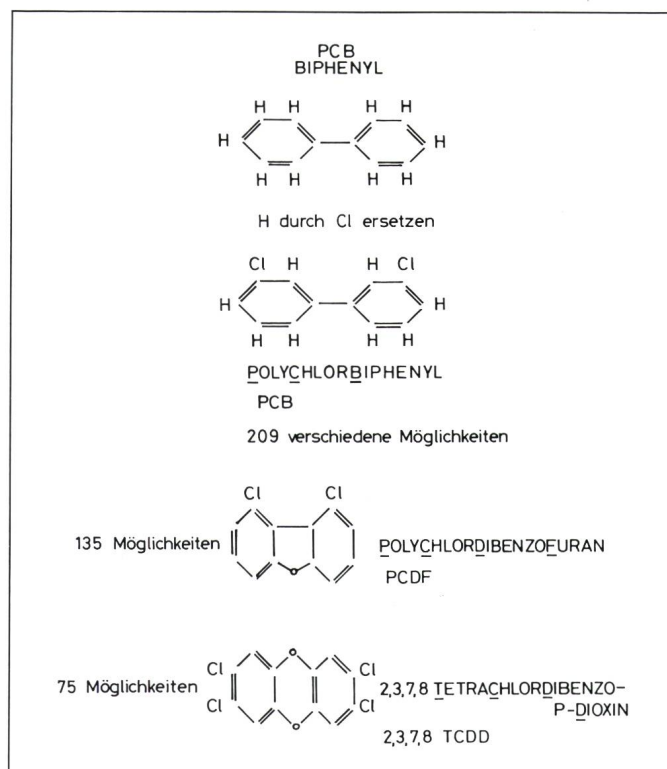
## 4. PCB in Transformatoren und Kondensatoren

### 4.1 Chemischer Aufbau und Eigenschaften von PCB

PCBs sind *Polychlorbiphenyle*, organische Chlorverbindungen. Diese Substanzen sind schon seit etwa 100 Jahren bekannt. Im Jahre 1929 wurden sie von Mr. Clark in den USA für Isolierzwecke eingeführt.

Im Biphenyl-Grundmolekül sind insgesamt 10 Wasserstoffatome durch Chloratome ersetzbar. Dies ergibt 10 unterschiedliche sogenannte Homologe, d.h. es können 1-10 Chloratome im Molekül gebunden sein. Da die Stellung der Chloratome im Biphenylmolekül auch einen Einfluss auf die Eigenschaften des PCBs hat, sind total 209 chemisch unterscheidbare chlorierte Biphenyle möglich (Fig. 6). Es gibt also nicht nur ein PCB, sondern eine ganze Anzahl. In der Praxis, d.h. im Transformatorenbau, sind hauptsächlich PCBs mit 2 bis 6 Chloratomen im Einsatz. In einem PCB mit 54/55% Chlor sind 28% mit 4, 44% mit 5 und 16% mit 6 Chloratomen enthalten. Der

**Figur 6**  
**Chemische Struktur von PCB, PCDF und TCDD**



Rest verteilt sich auf höher und niedriger chlorierte Anteile. In den meisten Fällen wurden die PCBs mit Trichlorbenzol (20...40%) gemischt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass PCBs keine eigentliche Substanz sind. Im Handel sind die PCBs unter sehr verschiedenen Markennamen verkauft worden. Als Beispiel seien die Bezeichnungen der wichtigsten Hersteller und Verbraucher genannt: Aroclor (Monsanto USA), Clophen (Bayer), Pyralène (Prodelec, France), Apirolio (Cafaro, I), Pyranol (General Electric) usw.

Die technisch eingesetzten PCBs sind hervorragende, flüssige Isolierstoffe. Sie zeichnen sich aus durch hohe Durchschlagsfestigkeit, niedrigen Verlustfaktor, hohen Durchgangswiderstand und sehr geringe Wasseraufnahme. Sie brennen nicht und spalten auch im elektrischen Lichtbogen keinerlei brennbare oder explosive Gase ab. Auch sind sie thermisch und chemisch sehr stabil. Selbst bei hohen Temperaturen oxidieren sie nicht. Der Dampfdruck ist niedrig. Für die PCBs mit zwei bis drei Chloratomen im Molekül ist er kleiner als  $10^{-3}$  Torr bei  $20^\circ\text{C}$ , für höher chlorierte liegt der Wert noch viel tiefer. Die PCBs sind in Wasser sehr schwer löslich, etwa 0,05 ppm (= 0,05 mg/l). Sie besitzen auch gute Wärmetransporteigenschaften.

Die erwähnten Eigenschaften weisen auf eine fast ideale Isolierflüssigkeit für Transformatoren hin. Es ist nicht erstaunlich, dass sie in den sechziger Jahren in grossem Masse eingesetzt wurden.

### 4.2 Giftigkeit der PCBs für Menschen und Tiere

Bei Einhaltung der Verarbeitungsvorschriften bei der Fabrikation von Transformatoren und Kondensatoren wurden keine auffälligen Schädigungen der mit der Verarbeitung beschäftigten Personen beobachtet.

Die akute Toxizität der PCBs für den Menschen wird als niedrig eingestuft. Sie liegt in der Grössenordnung von chlorierten Lösungsmitteln (z.B. «Tri»). Beim Menschen kann PCB sogenannte Chlorakne bewirken. Dies ist eine unangenehme Hautkrankheit, die zur Ausheilung lange Zeit benötigt. Diese Hautkrankheit wurde früher als «Arbeiterpocken» bezeichnet. Sie tritt auch beim Umgang mit anderen chlorierten Substanzen auf.

Die Langzeitwirkung der PCBs auf Mensch und Tier ist noch nicht völlig geklärt. Gewisse Autoren berichten, dass einzelne PCBs karzinogene Wirkungen haben sollen. Es wird auch vermutet, dass PCBs als Tumor-Promotoren wirken können. Promotoren sind Substanzen, die für sich keine Tu-

more bilden, jedoch die von anderen Substanzen geschädigten Zellen zum Tumorstadium anregen können. Der Sachverhalt ist kompliziert und wissenschaftlich noch nicht abgeklärt. Verschiedene Beobachtungen lassen jedoch vermuten, dass, wenn minimale hygienische Vorschriften eingehalten werden, der Umgang mit PCB nicht besonders gefährlich ist. Der niedrige Dampfdruck der PCBs verhindert, dass grössere Mengen PCB in den Körper gelangen können. Gefährlicher dürfte die Anreicherung von PCB im Körper durch die Nahrungsaufnahme sein.

### 4.3 PCB in der Umwelt

Da die PCBs, insbesondere die höher chlorierten, sehr stabil und praktisch nicht abbaubar sind, reichern sie sich in der Umwelt an. Aus dem Wasser usw. gelangen sie über die Nahrungskette in den menschlichen Körper und über die Muttermilch auch in den Säugling.

PCB reichert sich im Fettgewebe an. Nach den vorliegenden Untersuchungen ist PCB allgegenwärtig in unserer Umwelt. Von den Pinguinen in der Antarktis bis zu den Fischen und Vögeln der Arktis kann überall PCB nachgewiesen werden. Dies ist weiter nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, dass weltweit pro Jahr etwa 1 Mio Tonnen PCBs fabriziert wurden. Ein erheblicher Teil davon ist auf die eine oder andere Art in die Umwelt gelangt. Zur Illustration seien einige von den Herstellern empfohlene Anwendungen genannt:

- Isoliermittel für Transformatoren und Kondensatoren
- Hydraulikflüssigkeit
- Wärmeübertragungsmittel
- Zusatz zu Schmiermitteln
- Weichmacher für PVC und andere Kunststoffe
- Zusatz zu Gummimischungen und zu Lacken

Die obenerwähnten Anwendungsvorschläge finden sich noch in Firmenprospekten aus dem Jahre 1969. PCB wurde sogar als Zusatz zu Nagellacken in der Kosmetik verwendet. Es war auch in vielen anderen Publikumsartikeln vorhanden. Kühl- und Schmieröle älterer Düsenmotoren scheiden etwa 10 kg PCB pro Maschine und Jahr in die Atmosphäre ab.

Diese Beispiele illustrieren, dass die weltweite Verschmutzung durch PCB zum allerkleinsten Teil durch Transformatoren verursacht wurde.

### 4.4 Verhalten von PCB im Brandfall / Chemische Umsetzung von PCB

Im Februar 1981 wurde in Binghampton N.Y. im Keller eines Hochhauses ein mit PCB gefüllter Transformator durch einen Sekundärbrand eines Schalters so geschädigt, dass etwa 600 l. Isolierflüssigkeit ausliefen. Das PCB gelangte teilweise in den Brand, verdampfte und wurde durch die Klimaanlage im ganzen Gebäude verteilt. Die durchgeführten chemischen Analysen ergaben, dass in den Brandkondensaten die sehr giftigen 2,3,7,8 TCDD (2,3,7,8 Tetrachlor-dibenzo-p-dioxin) und TCDF (2,3,7,8 Tetrachlor-dibenzo-furan) in ppm-Mengen vorhanden waren. Das ganze Hochhaus wurde geschlossen und in den Jahren 1982/83 für etwa 5 Mio US-Dollar gereinigt. Beim 2,3,7,8 TCDD handelt es sich um das durch den Fall Seveso unruhlich bekannt gewordene «Dioxin». Dieses Dioxin gilt als die giftigste, bisher synthetisch hergestellte Substanz. Weniger giftig werden die TCDF-Verbindungen eingestuft. Wie giftig diese Sekundärprodukte für den Menschen wirklich sind, ist nicht bekannt. Dass jedoch schon äusserst kleine Mengen die Gesundheit mindestens zeitweise erheblich schädigen können, wurde leider im Fall Seveso bekannt.

Es hat auch schon früher andere Unglücksfälle mit PCB-Trafos gegeben, doch wurden damals die Brandrückstände nicht so genau untersucht, da die Möglichkeiten noch nicht vorhanden waren.

Zur Dioxinbildung muss noch ergänzt werden, dass nur PCBs mit fünf und mehr Chloratomen im Molekül das gefährliche Dioxin bilden können. Die im Trafobau bis 1980 eingesetzten Askarele enthalten alle mehr oder weniger grosse Mengen von fünffach chlorierten Biphenylen. Die labormässige Überprüfung der Bildung von Dioxin aus PCB hat ergeben, dass solche bei 500...800° gebildet werden. In einem Trafo-PCB konnten nach Erwärmen auf 600° 20 ppm Dioxin und 1000 ppm 2,3,7,8 TCDF nachgewiesen werden. Wenn das sehr grosse Giftpotential dieser Substanzen berücksichtigt wird, sind dies erhebliche Mengen. Was sich genau bei einem Trafobrand alles abspielt oder abspielen kann, ist noch nicht abgeklärt. Zusätzlich sind katalytische Einflüsse durch die vorhandenen weiteren Stoffe wie Kupfer, Eisen, verkohltes Holz usw. möglich.

Insbesondere könnte sich thermisch stark geschädigtes Mauerwerk sehr ungünstig auswirken, da die gebildeten alkalischen Stoffe die Dioxinbildung erheblich begünstigen könnten. Jedenfalls kann festgehalten werden, dass PCB-Transformatoren in Sekundärbränden oder wenn innere Schlüsse auftreten, eine sehr grosse Gefahr für den Menschen und die Umwelt darstellen.

### 4.5 Versicherungs-technische Aspekte

Die Versicherungen haben bereits begonnen, die Gefährlichkeit des PCBs in den Verträgen zu berücksichtigen. Dies ist verständlich, wenn berücksichtigt wird, mit welchen Schadenssummen bei einem PCB-Unfall gerechnet werden muss. Bevor die Gefährlichkeit der PCBs bekannt war, haben die Feuerversicherungen beim Einsatz von PCB-Transformatoren erhebliche Prämienreduktionen gewährt. Diese Politik dürfte jetzt geändert werden. Den Betreibern von PCB-Transformatoren wird dringend empfohlen, bei ihren Versicherern genau abzuklären, ob die möglichen Schadenereignisse, wie sie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben sind, abgedeckt sind. Ein mit Dioxin verseuchter Raum muss mit sehr aufwendigen Massnahmen entgiftet werden, er steht dann für lange Zeit nicht mehr zur Verfügung. In extremen Fällen ist das Gebäude sogar abzutragen. Für die verseuchte Umgebung dürfte der Betreiber haftpflichtig sein.

Obschon Schadenereignisse mit PCB-Transformatoren selten sind, empfiehlt es sich, die neuesten Erkenntnisse zu berücksichtigen und die möglichen katastrophalen Folgen sorgfältig und verantwortungsbewusst abzuschätzen.

### 4.6 Austausch der PCB-Transformatoren

Das PCB kann entweder durch eine andere Isolierflüssigkeit ersetzt oder der ganze Transformator kann durch einen anderen flüssigkeits- und trockenisolierten ausgetauscht werden.

Beim Ersetzen des PCBs durch eine andere Isolierflüssigkeit sind Änderungen der Eigenschaften des Transformators in Kauf zu nehmen. Es können dies die Brandsicherheit und die Leistung sein. Auch sind die Konstruktionsmaterialien auf Beständigkeit gegen das neue Isoliermittel zu un-

tersuchen, insbesondere die Dichtungen.

Das grösste Problem beim Umfüllen ist aber der Restgehalt an PCB in der Ersatzflüssigkeit. Die OECD-Vorschrift verlangt, dass die Isolierflüssigkeiten einen maximalen Restgehalt von 0,1% enthalten dürfen, sonst gilt der Transformator weiterhin als PCB-Apparat. In den USA werden Werte von weniger als 0,5% gefordert. Diese Werte sind nur mit grossem Aufwand zu erreichen. In einem Transformator sind bekanntlich Holz, Papier, lamellierte Eisenkerne, lagenweise gewickelte Spulen aus Band, Rund- oder Rechteckdraht. Die porösen Konstruktionsmaterialien und sämtliche Zwischenräume sind mit PCB gefüllt. Auch nach ein- oder mehrmaligem Spülen mit einem geeigneten Lösungsmittel gelingt es nicht, 99,9% des PCBs herauszulösen. Sofort nach Einfüllen des Ersatzmediums dürfte ein Restgehalt von weniger als 1% möglich sein. Nach etwa einem Jahr wird dieser aber bereits 2...3% oder mehr betragen, je nach der Menge Papier oder Holz. Diese Restmenge PCB kann aus der Ersatzflüssigkeit durch geeignete Adsorptionsmittel entfernt werden. Dazu ist es aber notwendig, die Isolierflüssigkeit umzuwälzen und periodisch den PCB-Gehalt zu bestimmen.

Modelluntersuchungen bei General Electric in den USA haben gezeigt, dass es sehr lange dauern kann, bis das PCB z.B. aus einem Papierwickel durch die Ersatzflüssigkeit ausgetauscht ist. In einem Wickel von 1 cm Dicke dauert es z.B. 8000 Std. bis 90% ersetzt sind. Bei Holz dürften ähnliche Verhältnisse vorliegen. Jedenfalls sind Austauschaktionen sehr sorgfältig zu planen und zu überwachen. Es ist unerlässlich, von Fall zu Fall festzulegen, ob eine Umfüllung verantwortet werden kann oder nicht. Dies kann letztlich nur zwischen dem Betreiber, dem Trafishersteller und Entsorgungsspezialisten entschieden werden.

Für eine Neufüllung liegt die Kostenschätzung zwischen 50 und 75% des Neupreises. Die Kosten setzen sich

zusammen aus: Vernichtung des PCBs, Preis für das neue Isoliermittel, Kosten für Spülmittel und deren Entsorgung, Nachbehandlung des Aktivteils, Montage einer Umwälzung mit Filter, Ersatz der Dichtungen, evtl. Vergrößerung des Expansionsgefässes, elektrische Prüfung des neugefüllten Apparates, periodische Kontrolle des PCB-Gehaltes und Auswechseln und Entsorgen des Absorptionsfilters. Eine seriöse Umfüllung kann vor Ort nicht durchgeführt werden, so dass auch Transportkosten anfallen und Betriebsunterbrüche (mind. einen Monat) nicht zu vermeiden sind. Ein Umfüllen könnte nur dann interessant sein, wenn der Aufstellungsort nicht unter die Kategorie der besonders gefährlichen Bereiche fällt. Es muss immer berücksichtigt werden, dass während einem oder mehreren Jahren der umgefüllte Apparat wegen des Restgehaltes weiterhin als PCB-Transformator zu betrachten ist.

Das Gefahrenpotential des Restgehaltes für die Umwelt in einem Defekt- oder Brandfall kann zurzeit nicht abgeschätzt werden. Die Mischung mit brennbaren Flüssigkeiten könnte sich als besonders gefährlich erweisen. Im gegenwärtigen Zeitpunkt ist vom Umfüllen der PCB-Transformatoren abzuraten.

#### 4.7 Ersatz für PCB in Transformatoren

Als Ersatz für PCB, zum Umfüllen oder für neue Transformatoren, kommen Mineralöle, Silikonöle, sogenannte komplexe Ester und allenfalls andere chlorierte Isolierflüssigkeiten in Betracht.

Ausserdem kommen Trocken- oder giessharzisierte Transformatoren als Ersatz in Frage. Solche Transformatoren werden bis 5 MVA (evtl. 10 MVA) gefertigt. Für grössere Leistungen wären mehrere Transformatoren parallel zu schalten oder konventionelle flüssigkeitsisolierte einzusetzen. Entsprechende Brandschutzmassnahmen wären zu treffen.

#### 4.8 Derzeitige Entsorgung der PCB-Transformatoren und -kondensatoren

Bei dem von der Fairtec angewandten Verfahren werden die Transformatoren und Kondensatoren in einem als Sicherheitswanne ausgebildeten Raum entleert, mit Silikaten konditioniert, verschlossen und der Untertagedepotie Herfa-Neurode zur Einlagerung überbracht. Kleinere bis mittlere Kondensatoren werden nach der Konditionierung in speziell vorgeschriebene Metallcontainer abgefüllt und ebenfalls in Herfa-Neurode abgelagert.

Die PCBs werden in einer Anlage in Frankreich nach dem sogenannten VICARB-Rhône-Poulenc-Verfahren verbrannt.

Die Fairtec AG hat letztes Jahr ein Gesuch für die Aufstellung einer PCB-Verbrennungsanlage in der Schweiz eingereicht. Ferner wurden bereits mehrere Transformatoren mit einer eigens entwickelten Anlage derart gereinigt, um Stahl und Kupfer der Verhüttung zuzuführen.

Mit der Errichtung einer solchen Anlage wird die Auslandsabhängigkeit für diese Entsorgung angestrebt.

Der Anfall in der Schweiz ist mengenmässig im Vergleich zum Anfall in Europa gering:

Schweiz: Trafos etwa	8 000 Tonnen
Frankreich: Trafos etwa	150 000 Tonnen
Deutschland: Trafos etwa	120 000 Tonnen
Kondensatoren etwa 60% der	
Trafo-Gewichte	

Für die Entsorgung des anfallenden PCB stehen heute in Europa nur wenige Anlagen zur Verfügung, die den strengen Anforderungen genügen. Neuanlagen können nur zu langsam realisiert werden (Standort – St. Florians-Politik). Durch die Realisierung einer Anlage in der Schweiz könnte auch das benachbarte Ausland (z.B. Vorarlberg, Süddeutschland) entsorgt werden.

Bei normalen  
Kleinsteuerungen  
haben Sie  
keine Wahl.

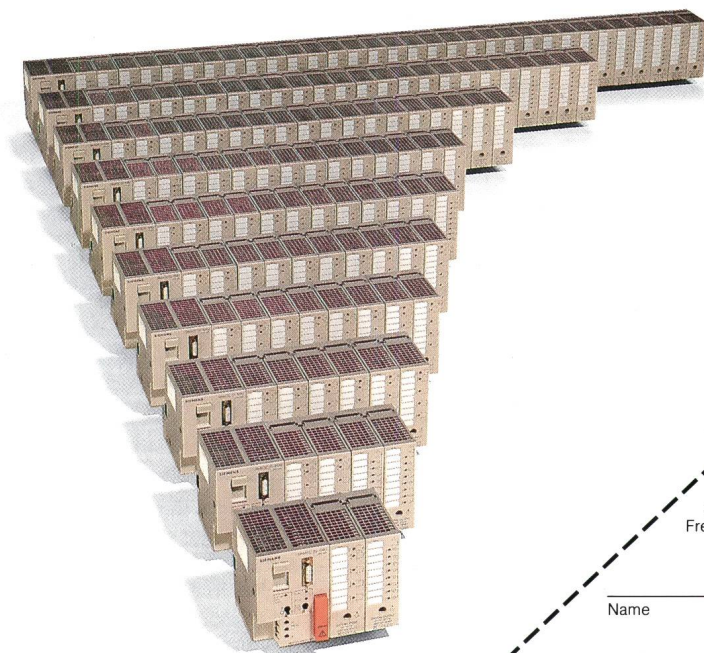
# Deshalb ist die SIMATIC 100U ganz anders.

Steuerungsaufgaben sind vielfältig – und damit auch die Anforderungen an die Steuergeräte. Wer heute jedoch eine Kleinsteuerung für seine speziellen Aufgaben sucht, hat kaum eine Möglichkeit, sie so zusammenzustellen, dass sie seiner Steuerungsaufgabe genau entspricht. Manche sind zu gross, andere zu klein, wieder anderen fehlen benötigte Leistungsmerkmale.

SIMATIC® 100U ist da ganz anders: Bei dieser Steuerung bestimmen Sie allein, wie sie auszusehen hat. Baugruppe für Baugruppe können Sie die SIMATIC 100U wachsen lassen, bis sie ganz genau passt – von 4 bis 256 Ein-/Ausgängen, mit oder ohne Analogwertverarbeitung, mit 2 Zentralbaugruppen zur Auswahl. Sie können die Steuerung senkrecht oder waagrecht anordnen, in einer Zeile oder auf bis zu 4 Zeilen verteilt, im Abstand von max. 3x10 m. Und: Der Peripherie-Bus wächst dabei einfach mit; denn SIMATIC 100U ist die erste Kleinsteuerung mit dem feinstufig modularen Bus.

Unser kostenloses Info-Paket wartet auf Sie: Einfach den Coupon einsenden an:  
Siemens-Albis AG, Information 2  
Freilagerstr. 40, 8047 Zürich  
Tel. 01/495 52 40

## SIMATIC 100U die erste wirklich modulare Kleinsteuerung



Senden Sie mir Ihr kostenloses  
SIMATIC 100 U-Informationspaket.  
Siemens-Albis AG, Information 2  
Freilagerstr. 40, 8047 Zürich, Tel. 01/495 52 40

Name

Firma/Abteilung

Strasse

Ort

A19100-E811-Z661