

# Cadmium

## – Anwendung, Recycling und Ersatzprodukte

W. Tötsch

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Breslauerstraße 48, W-7500 Karlsruhe

**Zusammenfassung.** Trotz der jahrelang heftig geführten Cadmiumdiskussion wird in der Bundesrepublik Deutschland mehr Cadmium verwendet als in Japan oder den USA. Erfolge, die bei der Substitution von Cadmium in Pigmenten, Stabilisatoren oder als Beschichtungsmaterial erzielt wurden, werden durch den starken Mehrverbrauch von Cadmium für Akkumulatoren kompensiert. Geschlossene Ni/Cd-Akkumulatoren, die hauptsächlich im privaten Bereich verwendet werden, können nur teilweise durch andere elektrochemische Energiespeicher ersetzt werden.

Ein effektives Sammelsystem vorausgesetzt, könnten Altbatterien kostendeckend aufgearbeitet werden. Derzeit gibt es in der Bundesrepublik keine Kapazitäten für ein Recycling von Cadmium aus Batterieschrott. Die anderen Verwendungen von Cadmium zeigen schwache Abwärtstendenzen. Cadmiumpigmente werden überwiegend für die Färbung von Kunststoffen eingesetzt. Hier können sie weitgehend ersetzt werden. Für die Stabilisierung von PVC kann mittelfristig auf Cadmium verzichtet werden, wenn die neuen Stabilisatoren auf Basis von Calcium und Zink die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen. Daß es auch ohne Cadmium im Korrosionsschutz geht, konnten die Japaner demonstrieren: sie verwenden schon seit Jahren fast kein Cadmium mehr für die Galvanotechnik.

### 1 Einleitung

Cadmium ist ein giftiges Schwermetall, dessen natürliche Konzentration an der Erdoberfläche sehr gering ist. Durch das Wirken des Menschen wird das Schwermetall aus seinen unterirdischen Lagerstätten befreit und in unserer Umwelt verteilt. Ziel umweltgerechter Produktion muß es sein, den Cadmiumeinsatz zu senken; auch vertiefen sich die Bedenken über die Toxizität von Cadmium am Arbeitsplatz. Selbst unlösliche Cadmiumverbindungen wie das Oxid und die Sulfoselenide verursachen Lungenkrebs bei Ratten [1]. Der MAK-Wert für Cadmiumverbindungen ist deshalb in der Bundesrepublik Deutschland ausgesetzt, über den Wert für die Technische Richtkonzentration wird noch diskutiert. Die amerikanische Behörde für Arbeitssicherheit OSHA möchte den Threshold Limit Value für Cadmium auf  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  senken. Eine so niedrige Arbeitsplatzkonzentration einzuhalten ist derartig kostspielig, daß viele Anwender versuchen werden, auf den Cadmiumeinsatz gänzlich zu verzichten.

### 2 Umfang der Cadmiumverwendung

In der Bundesrepublik Deutschland wurde der Höhepunkt des Cadmiumeinsatzes im Jahr 1979 mit einem Verbrauch von 2 069 t erreicht [2], bis dann die Bedenken hinsichtlich der Toxizität des Metalls überwogen. Innerhalb von zwei Jahren konnte der Cadmiumeinsatz um 43 % gesenkt werden [3] (→ Abb. 1). Bis 1988 ist der Cadmiumverbrauch wieder auf etwa 1 300 t gestiegen.

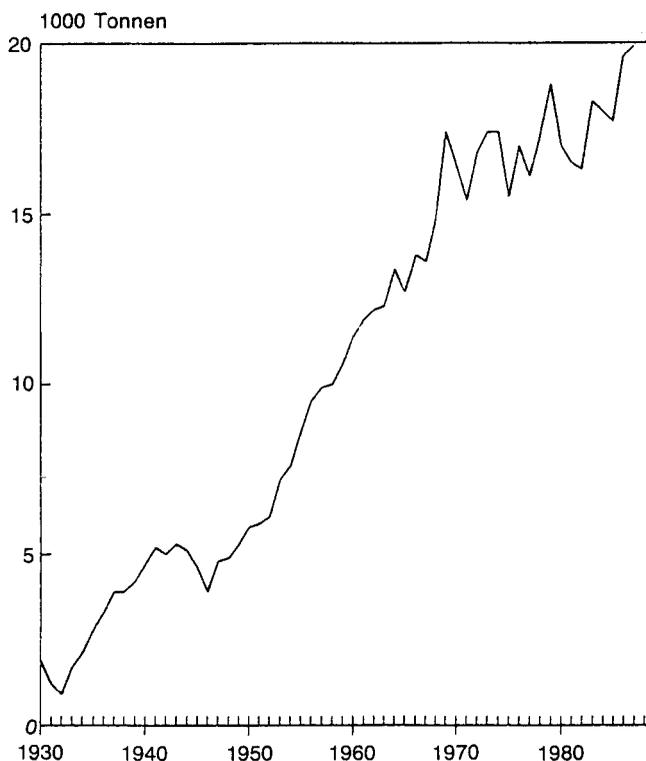


Abb. 1: Produktion von Cadmium von 1930 bis 1987 nach der Metallstatistik [13]

In der Bundesrepublik wird deutlich mehr Cadmium pro Einwohner verwendet als in Japan oder den USA (→ Abb. 2). Einige europäische Länder – Schweden, Dänemark, die Schweiz – haben durch Gesetz den Einsatz

Tabelle: Die Anwendungen von Cadmium

Verwendung	Einsatz	Tendenz	Konzentration	Einsatzdauer	Verwendungsbeispiele
<b>Akkumulatoren</b>	350 – 400 t				
Offene Zellen	50 t	sinkend	150 – 220 g/kg	15 – 20 a	Unterbrechungsfreie Stromversorgung, Starterbatterien für Flugzeuge, Fahrerlose Transportsysteme
Geschlossene Zellen	300 – 350 t	steigend	150 – 200 g/kg	2 – 3 a	Schnurlose Elektrogeräte, Modellbau, Ersatz von Primärelementen, Meßgeräte
<b>Pigmente</b>	291 t				
Kunststoff-Färbung	250 t	konstant	1 – 3 g/kg	5 – 15 a	Flaschenkästen und andere langlebige bunte Kunststoffprodukte
Lacke	6 t	sinkend	1 – 20 g/m <sup>2</sup>	5 – 10 a	Sonderlackierungen
Keramikindustrie	24 t	konstant	5 – 20 g/m <sup>2</sup>	5 – 10 a	Emailierte Töpfe, dekorierte Keramiken
Glasindustrie	11 t	konstant	20 – 30 g/kg	5 – 20 a	Signalgläser, Kirchenfenster
<b>Stabilisatoren</b>	279 t				
Fensterprofile	210 t	konstant	1 – 2 g/kg	30 – 50 a	Kunststoffenster
andere Außenprofile	47 t	konstant	1 – 2 g/kg	10 – 20 a	Sidings, Werbetafeln
Dach- u. Schwimmbadfolien	18 t	sinkend	1 – 2 g/kg	5 – 20 a	Baubereich
Weichextrusion	4 t	sinkend	1 – 2 g/kg	5 – 10 a	Gartenschläuche
<b>Galvanische Beschichtungen</b>	200 t	konstant	40 – 100 g/m <sup>2</sup>	5 – 15 a	Verbindungselemente, Ventile, Präzisionsteile
<b>Andere Verwendungen</b>	126 t				
Lote	40 t	konstant	150 – 210 g/kg	5 – 20 a	Silberhartlote
Kontaktmaterial	6 t	sinkend	25 – 150 g/kg	5 – 20 a	Elektrische Schalter
Andere	ca. 80 t				Legierungen, Neutronenadsorber, Chemikalien, Halbleiter
<b>Summe</b>	<b>1 250 – 1 300 t</b>	<b>schwach steigend</b>			

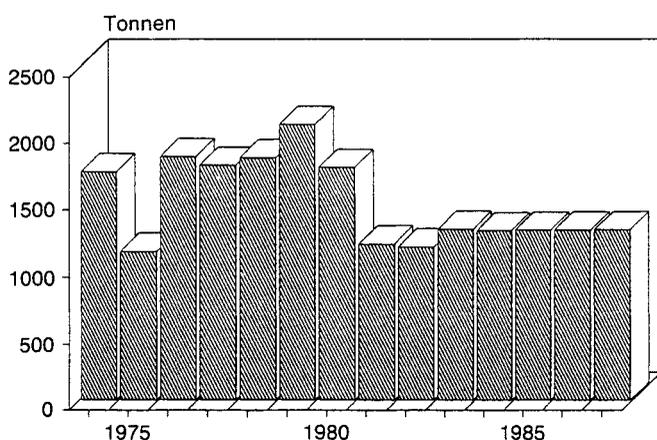


Abb. 2: Verbleib von Cadmium in der Bundesrepublik Deutschland nach RAUHUT [2] und BÖHM [3]

von Cadmium für viele Anwendungen verboten. Auch die EG-Kommission berät über eine Richtlinie, welche die Verwendung von Cadmium EG-weit einschränkt. Die Tabelle zeigt die Anwendungen von Cadmium in der Bundesrepublik.

### 3 Nickel/Cadmium-Akkumulatoren

Ni/Cd-Akkus sind das einzige Einsatzgebiet von Cadmium, welches seit Jahren wächst. Ca. 400 t Cadmium wurden 1987 für die Herstellung von Akkumulatoren in der Bundesrepublik Deutschland verwendet. Ein Akkumulator enthält 15 bis 22 Gewichtsprozent Cadmium. Ni/Cd-Akkumulatoren sind sowohl mechanisch wie elektrisch extrem robust. Sie arbeiten in einem weiten Temperaturbereich, können schnell geladen und entladen werden und dürfen notfalls längere Zeit entladen stehen bleiben [4]. Je nach Bauart unterscheidet man *offene* und *geschlossene* Zellen.

**Offene Zellen** dienen der unterbrechungsfreien Stromversorgung, als Starterbatterien für Flugzeuge sowie große Dieselmotoren und als Traktionsbatterien in fahrerlosen Transportsystemen [3]. Sie benötigen wenig Pflege, doch muß der Elektrolyt regelmäßig gewechselt werden. Sie sind extrem langlebig. Diese Akkumulatoren, die ausschließlich professionellen Einsätzen dienen, werden schon aus Kostengründen von wartungsfreien Bleiakkus aus allen Anwendungen verdrängt werden, bei denen keine extremen Anforderungen an die *Ladegeschwindigkeit*, das *Leistungsgewicht* und das *Kälteverhalten* gestellt werden.

Nur in *marginalen Anwendungsgebieten* lassen sich hingegen die **geschlossenen Ni/Cd-Akkus** ersetzen. Diese werden als Knopfzellen und in Größen, die nicht aufladbaren Zink/Kohle-Batterien entsprechen, gebaut. Sie sind die Energiequelle aller aufladbaren schnurlosen Elektrogeräte im Haushalt und werden an Stelle kompatibler Primärzellen für den Antrieb von Spielzeugmodellen oder Kassettenrekordern verwendet. Geschlossene Ni/Cd-Zellen haben eine Lebensdauer von 2 bis 3 Jahren und können bis zu 500mal geladen werden. Sie sind vollkommen wartungsfrei und leicht von Laien zu bedienen.

Bleiakkus können diese kleinen Ni/Cd-Akkus nur in wenigen Anwendungen ersetzen, da runde und kleine Bleizellen in der Herstellung sehr problematisch sind. Außerdem ist die Belastbarkeit von Bleiakkus für die meisten Anwendungen zu niedrig. Lithiumzellen können auf Grund ihrer hohen Energiedichte und extrem niedrigen Selbstentladung Ni/Cd-Knopfzellen für die Pufferung elektronischer Speicher ersetzen.

Der Inlandverbrauch an geschlossenen Ni/Cd-Akkus hat sich von 1984 bis 1987 verdreifacht [3]. Die Nachfrage wird weiter steigen, eventuell so stark, daß der Cadmiumbedarf für Akkus das Einsparpotential bei allen anderen Anwendungen übersteigt. Selbst gut organisierte Sammelaktionen konnten bislang nur 20 bis 30 % der verkauften Batterien erfassen. Die Ausbeute ist bei Ni/Cd-Akkumulatoren, die fest in Elektrogeräten eingebaut sind, sicher noch geringer. Betrug der Cadmiumgehalt des Hausmülls vor wenigen Jahren etwa 10 ppm entsprechend 270 t Cadmium, so kann der verstärkte Anfall von Ni/Cd-Akkus aus den Haushalten eine Verdoppelung des Cadmiumgehaltes im Müll bewirken.

#### 4 Cadmiumsulfoselenide als Pigmente

Cadmumpigmente wurden schon im 19. Jh. für Künstlerfarben verwendet. Industrielle Bedeutung erreichten sie erst mit dem Aufschwung der **Kunststoffindustrie**. Heute werden etwa 250 t Cadmium für die Kunststoff-Färbung eingesetzt. Der Einsatz in der **Keramikindustrie** (24 t), der **Glasindustrie** (11 t) und in **Lacken** (6 t) ist deutlich geringer. Der Cadmiumeinbau in der Kunststoff-Färbung stagniert seit Jahren, Einsparungen durch Substitution wurden durch das Wachstum der Kunststoffbranche wettgemacht.

Alle Cadmumpigmente basieren auf dem gelben Cadmiumsulfid [5]. Der Einbau von Zink in das Kristallgitter verschiebt den Farbton ins grünliche, teilweiser Ersatz des Schwefels durch Selen ergibt orange bis tiefrote Farbtöne. Früher wurde roten Cadmumpigmenten auch Quecksilbersulfid zugesetzt.

Alle Cadmumpigmente zeigen reine, brillante Farbtöne. Die Farbstärke ist besser als die der meisten anorganischen Pigmente, aber geringer als die Farbstärke hochwertiger organischer Pigmente. Cadmumpigmente sind bei allen in der Kunststoffverarbeitung üblichen Temperaturen stabil.

Auch aggressive Kunststoffschmelzen greifen die Pigmente nicht an. Die Pigmente bluten nicht aus, sind lichtecht und schützen den Kunststoff gegen die Einwirkung von UV-Strahlung. Cadmumpigmentierte Kunststoffe enthalten zwischen 0,1 und 0,3 Gewichtsprozent des Metalls.

Für die Färbung von Elastomeren, Duroplasten und von Thermoplasten, die *unter* 240 °C verarbeitet werden, sind Cadmumpigmente verzichtbar. Im Gegensatz dazu lassen sich Cadmumpigmente für die Rotfärbung von Fluorpolymeren und anderen Kunststoffen, die über 300 °C verarbeitet werden und aggressive Schmelzen haben, nicht ersetzen. Diese Kunststoffe sind jedoch technischen Anwendungen vorbehalten und werden selten in den leuchtenden Cadmiumfarben gefärbt.

Der überwiegende Teil der Cadmumpigmente wird für die Färbung von **Polyolefinen** und **Styrolcopolymerisaten** verwendet [5]. Hier konkurrieren Cadmumpigmente mit den Ersatzstoffen. Wie groß die Vorteile von Cadmumpigmenten sind, hängt von den Verarbeitungsbedingungen und den gewünschten Produkteigenschaften ab. Außeneinsatz, hohe Lebensdauer und komplizierte Produktgeometrie erschweren die Substitution von Cadmium. So werden Flaschenkästen gerne mit Cadmiumsulfoseleniden gefärbt. Sie sollen 10 bis 15 Jahre im Umlauf sein und sind einen Teil dieser Zeit dem Wetter ausgesetzt. Aber auch weniger anspruchsvolle Produkte wie Flaschenverschlüsse und Verpackungen werden gelegentlich noch mit Cadmumpigmenten gefärbt.

Als **Ersatzprodukte** stehen organische und anorganische Pigmente zur Verfügung. Chrom- und Nickelitangelb sind hochtemperaturfeste Pigmente, die den Cadmumpigmenten *technisch gleichwertig* sind [6]. Die Gelbtöne sind jedoch weniger leuchtend als die Cadmumpigmente. Chromgelb und Molybdätrot gleichen im Farbton den Cadmumpigmenten viel mehr, doch basieren beide Pigmente auf dem toxischen Bleichromat.

Es gibt eine große Anzahl von gelben, roten und orangen *organischen Pigmenten*. Nur die hochwertigsten kommen als Ersatzprodukte für Cadmumpigmente in Frage. Das sind insbesondere Pigmente mit Anthrachinon-, Benzimidazol-, Chinacridon-, Disazokondensation-, Isoindolinon-, Isoindolin-, Perylen- oder Perinon-Strukturen. Viele Vertreter dieser Pigmentklassen können bei Temperaturen bis 300 °C verarbeitet werden. Sie verfügen auch über ausgezeichnete Licht- und Wetterechtheit [7]. Die Pigmente sind häufig *kostspielig*, was nur teilweise durch ihre hohe Farbstärke kompensiert wird.

Organische Pigmente kommen für den *Einsatz in der Keramikindustrie* und für die *Glasfärbung* nicht in Frage. Keramische Glasuren und Emailen werden heute meist mit Praseodymverbindungen gelb gefärbt, doch gibt es kein cadmiumfreies Rotpigment, das den Bedingungen des Glasurbrandes widersteht. Auch die für Signalgelber, z.B. Ampelanlagen, vorgeschriebenen Gelb- und Rottöne können nur mit Cadmumpigmenten eingestellt werden.

## 5 Stabilisatoren für PVC

Polyvinylchlorid kann nicht ohne die Hilfe von Zusätzen verarbeitet werden, die den Kunststoff gegen den Abbau durch Hitzeeinwirkung bei der Verarbeitung und die Einwirkung von Licht und Wetter schützen [8]. Eines dieser Stabilisierungssysteme basiert auf der synergistischen Wirkung von Barium- und Cadmiumcarboxylaten. Häufig werden die Stabilisatoren mit Bleiverbindungen kombiniert. 1987 wurden etwa 279 t Cadmium für die Stabilisierung von PVC verwendet, das entspricht 21 % des gesamten Cadmiumeinsatzes in der Bundesrepublik. Cd-stabilisiertes PVC enthält etwa 0,2 % des Metalls.

Ba/Cd-Stabilisatoren verleihen PVC eine ausgezeichnete **Licht- und Wetterechtheit** [9]. Besonders Ba/Cd/Pb-stabilisierte PVC-Massen bieten ein Optimum an Verfahrenssicherheit für die Extrusion komplizierter Profile. Die weitaus wichtigste Eigenschaft jedoch ist die große Erfahrung, welche die PVC-Verarbeiter mit dem *Langzeitverhalten* Ba/Cd-stabilsierter PVC-Massen haben, die ausschließlich zu langlebigen Produkten im *Außeneinsatz* verarbeitet werden. Etwa 76 % werden für die Herstellung von PVC-Fensterprofilen verwendet, weitere 17 % für andere Hart-PVC-Produkte im Außeneinsatz [3].

In der *Weichverarbeitung* wird Cadmium nur noch für Dach- und Schwimmbadfolien verwendet. Für diese Produkte übernimmt der Hersteller üblicherweise eine fünfjährige Garantie, weswegen er nur sehr ungern von erprobten Rezepturen abweicht; doch wird auch hier die Substitution bald abgeschlossen sein.

Einige Hersteller verwenden für ihre Fensterprofile eine reine Bleistabilisierung. Der Verzicht auf Cadmium wird jedoch durch eine starke Erhöhung des Schwermetallgehalts erreicht, da ca. 5mal soviel Blei wie Cadmium benötigt wird. Stabilisatoren auf der Basis von *Calcium-* und *Zinkcarboxylaten* wurden ursprünglich nur für den Einsatz in **Lebensmittelverpackungen** und **Kinderspielzeug** entwickelt. Für den Außeneinsatz galt ihre Stabilisierungswirkung als *gering*.

Durch konsequente Optimierung und den Zusatz neuentwickelter organischer Costabilisatoren konnten einige Anbieter von Stabilisatoren ihre Lichtschutzwirkung derart verbessern, daß diese Ca/Zn-Stabilisatoren den Ba/Cd-Stabilisatoren zumindest im Laborversuch ebenbürtig sind. Der eigentliche Test für Stabilisatoren ist jedoch die **Freibewitterung** der PVC-Produkte in Regionen mit extremen Klimabedingungen. Mit den Ergebnissen ist in Kürze zu rechnen. Erfüllen die Ca/Zn-Stabilisatoren die in sie gesetzten Erwartungen, so kann für die PVC-Verarbeitung auf Cadmium völlig verzichtet werden [3].

## 6 Galvanische Beschichtungen

Dünne Cadmiumschichten, die fast immer galvanisch aufgetragen werden, schützen Stahl gegen Korrosion. Etwa 200 t Cadmium werden für diesen Einsatz verwendet, hauptsächlich in der *Kfz-Industrie*, in der *Luft-* und *Wehr-*

*technik* und im allgemeinen *Maschinenbau*. Meistens wird das reine Metall abgeschieden, aber auch Legierungen mit Nickel oder Gold finden Anwendungen. Die Schichtdicken schwanken zwischen 5 und 12  $\mu\text{m}$ . Bei einer Schichtdicke von 8  $\mu\text{m}$  werden 70 g Cadmium für einen Quadratmeter beschichteter Fläche benötigt.

Cadmium ist unedler als Stahl und schützt den Grundwerkstoff als Opferanode; d.h., der Korrosionsschutz bleibt auch erhalten, wenn die Beschichtung mechanisch verletzt wird. Cadmium bildet wenig-voluminöse Korrosionsprodukte, welche die weitere Korrosion hemmen, ohne die Funktion beweglicher Teile einzuschränken. Der Reibungswiderstand bleibt dauerhaft klein, was für Schrauben, Schlösser und Ventile, die selten bewegt werden, wichtig ist. Der elektrische Übergangswiderstand verändert sich ebenfalls wenig, zusätzlich lassen sich die Schichten gut löten – wichtige Eigenschaften für den Einsatz in der *Elektroindustrie*. Cadmium verhindert die Kontaktkorrosion zwischen Stahl und Aluminium. Die Wasserstoffversprödung hochfester Stähle, die beim galvanischen Beschichten sehr leicht eintritt, läßt sich beim Cadmieren durch geeignete Verfahren vermeiden [10].

Cadmium erreichte als Beschichtungsmaterial nie die Bedeutung von Zink, Nickel oder Kupfer, doch bietet es eine Kombination von Eigenschaften, die es für gewisse Einsätze prädestiniert. Präzisionsteile und Verbindungselemente werden immer dann cadmiert, wenn *starker Korrosionsangriff* zu erwarten ist und niedrige Schichtdicken sowie gute Gleiteigenschaften gefordert werden oder Aluminium mit Stahl verbunden werden muß. Trotzdem ist es in Japan gelungen, fast völlig auf den Einsatz von Cadmium zu verzichten. Auch die deutsche Kfz-Industrie hat große Fortschritte bei der Substitution von Cadmium gemacht und hofft, in einigen Jahren auf dieses Metall verzichten zu können.

Zink ist Cadmium chemisch am ähnlichsten, doch reicht der Korrosionsschutz von Zinkbeschichtungen für typische Cadmiumverwendungen nicht aus. Einen weitaus besseren Korrosionsschutz bietet eine **Legierung** von Zink mit 10 bis 15 % Nickel [11]. Diese Beschichtung ist vom Korrosionsschutz her Cadmium *zumindest gleichwertig*. Die Abscheidung der Zink/Nickel-Legierung erfordert eine ständige analytische Badkontrolle, weswegen nur gut ausgerüstete Galvaniken das Verfahren beherrschen.

**Organische Beschichtungen**, die in mehrstufigen Verfahren aufgebracht und eingebrannt werden, enthalten Zinkpulver für den anodischen Korrosionsschutz und häufig Gleitmittel wie Teflon oder Molybdänsulfid. Diese Beschichtungen sind Cadmium im Korrosionsschutz und bei den Gleiteigenschaften *durchaus gleichwertig*. Noch klagen einzelne Kunden über die schwankende Qualität der beschichteten Teile. Für spezielle Anwendungen kommen auch andere Beschichtungen wie Zinn, Chemisch-Nickel oder galvanisch abgeschiedenes Aluminium in Frage. Besonders auf **Aluminiumbeschichtungen** wurden große Hoffnungen gesetzt, doch ist die Abscheidung von Aluminium aus dem wasserfreien Elektrolyten *wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig*.

## 7 Lote und andere Anwendungen

Rund 40 t Cadmium werden in der Bundesrepublik in Silberhartloten verwendet. Die Lothersteller bieten eine fein abgestimmte Palette von cadmiumfreien Silberhartloten an, doch sind diese aufgrund des höheren Silbergehaltes *teurer* und müssen bei etwas *höheren Temperaturen* verarbeitet werden.

Elektrokontakte aus Silber werden mit Cadmiumoxid dotiert, das die Zerstörung des Kontaktmaterials durch den Lichtbogen beim Betätigen des Schalters verhindert. Größere Schalter werden heute meist mit Antimonoxid-dotierten Silberkontakten ausgerüstet, doch hat sich dieses Kontaktmaterial, das schwierig zu bearbeiten ist, für kleine Schalter noch nicht durchgesetzt.

Daneben wird Cadmium noch in *extrem niedrig schmelzenden Legierungen* wie dem Wood'schen Metall und in Neutronenadsorbieren verwendet.

Photozellen und Gleichrichter aus Cadmium haben mengenmäßig keine Bedeutung.

## 8 Recycling von Cadmium

Die einzige deutsche Anlage zum Recycling von Cadmium, die Duisburger Kupferhütte, stellte 1983 ihren Betrieb ein. Sie verursachte allein etwa 75 % der Cadmiumemissionen in Gewässer [12]. Es gibt drei Anlagen zum Cadmiumrecycling in Europa, eine Anlage in Schweden mit einer Kapazität von etwa 90 t/a und zwei französische Anlagen mit ca. 500 t/a. Dem steht ein Cadmiumverbrauch in Westeuropa von 7 120 t im Jahr 1987 entgegen [13].

Für das Recycling von Cadmium eignet sich neben *Fehlchargen* aus der Produktion von Cadmiumverbindungen nur *Batterieschrott*. Die Cadmiumkonzentration anderer Abfälle liegt deutlich unter 0,5 %, damit hat das Recycling keine wirtschaftlichen Erfolgsaussichten. Die derzeit sehr hohen Nickel- und Cadmiumpreise – ein Kilogramm Cadmium kostet DM 28 – machen jedoch die Aufarbeitung von *Batterieschrott*, der um die 20 % Cadmium enthält, *wirtschaftlich interessant*. Für das Recycling fallen überwiegend die großen offenen Ni/Cd-Batterien an, die ein Batteriegewicht über 2 kg haben. Sie werden z.T. vor dem Recycling noch händisch zerlegt. Für die Gewinnung des Cadmiums wurden hydro- und pyrometallurgische Verfahren entwickelt. Durchgesetzt haben sich die einfacheren und kostengünstigeren pyrometallurgischen Verfahren [14]. Dabei wird Cadmium entweder als Oxid oder unter einer reduzierenden Atmosphäre als Metall abdestilliert. Bis zu 98 % des Metalls können zurückgewonnen werden. Die Emissionen moderner Anlagen sind sehr gering.

Wie schon erwähnt, verlagert sich das Schwergewicht bei Ni/Cd-Akkus von den großen offenen Zellen für industrielle Anwendungen zu kleinen geschlossenen Zellen für den überwiegend privaten Konsum. Derzeit werden diese Batterien von den Gemeinden zusammen mit Zink/Kohle- und

Alkali/Mangan-Batterien gesammelt. Eine Verarbeitung *gemischter Batterieschrotts* ist technisch nicht möglich, eine manuelle Sortierung ist zu teuer. In diesem Fall bleibt daher nichts anderes übrig, als die gesammelten Altbatterien zu *deponieren*. Will man Cadmium auch aus kleinen Ni/Cd-Akkumulatoren zurückgewinnen, müssen sie *getrennt gesammelt* werden. Eine getrennte Sammlung wird vom Fachhandel durchgeführt. Nennenswerte Sammelquoten werden sich ohne die Einführung eines Pfandsystems nicht realisieren lassen.

## 9 Schlußfolgerung

Der Einsatz von Cadmium ist auch eine Herausforderung für den Anwendungstechniker. Er muß auf ein Material verzichten, dessen Eigenschaften er gut kennt und auf das viele technische Spezifikationen zugeschnitten sind. Selten kann Cadmium eins zu eins durch den Ersatzstoff ersetzt werden, manchmal sind Umkonstruktionen des ganzen Bauteils nötig. Trotzdem läßt sich der Cadmiumverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland noch deutlich senken.

## 10 Literatur

- [1] U. GLASER; D. HOCHRÄINER; H. OLDIGES: Carcinogenicity and Toxicity of four cadmium compounds inhaled by rats. Vortrag anlässlich des 4. IUPAC Cadmium Workshop, 11. – 13. September 1988, Schmallingberg-Grafschaft
- [2] A. RAUHUT: Cadmium-Bilanzen 1967 – 1983. Landesgewerbeamt Bayern
- [3] E. BÖHM; W. TÖTSCH: Cadmiumsubstitution – Stand und Perspektiven. TÜV-Rheinland, Köln 1989
- [4] D. LINDEN: Handbook of Batteries and Fuel Cells. McGraw-Hill Book Company, New York 1984
- [5] K. HEINLE; G. BENZING: Anwendung von Cadmiumpigmenten und Möglichkeiten zur Substitution. Metalloberfläche 36, 10 – 12 (1982)
- [6] W. DAMM; E. HERRMANN: Farbstoffe für thermoplastische Kunststoffe in: Kunststoffadditive, Hanser-Verlag München Wien S. 486, 1983
- [7] W. HERBST; K. HUNGER: Industrielle organische Pigmente. VCH Weinheim 1987
- [8] J. WYPYCH: Polyvinyl Chloride Stabilization. Elsevier, Amsterdam/Oxford-New York-Tokio 1986
- [9] H. ANDREAS: PVC-Stabilisatoren in: Kunststoffadditive, Hanser-Verlag München Wien S. 199, 1983
- [10] E. BÖHM; J. MANN: Möglichkeiten und Hemmnisse der Cadmiumsubstitution im Kraftfahrzeugbau. Umweltforschungsplan, Forschungsvorhaben Nr. 10301115, Oktober 1984
- [11] E. KNAAK; H. KÖHLER; I. HADLEY: Korrosionsschutzverbesserung von Zink durch Mitabscheidung von Metallen der 8. Nebengruppe
- [12] H. W. JACOBI: Möglichkeiten der Verringerung von Schwermetallemissionen. Metall 39, 75 – 78 (1985)
- [13] Metallgesellschaft AG (Hrsg.): Metallstatistik, Frankfurt/Main 1987
- [14] T. ANULF: SAB-NiFe recycling concept of NiCd-batteries-An industrialized and environmentally safe process. Vortrag anlässlich der 6. Internationalen Cadmiumkonferenz, Paris 19. – 21. April 1989