

## Teil B: Status Quo und Anforderungen

### 5 Beschreibung des Umfelds „Elektronik und Umwelt“

#### 5.1 Umweltgesetzgebung

Die Umweltgesetzgebung mit einem unmittelbaren Bezug auf die unternehmerischen Aktivitäten der Elektro- und Elektronikindustrie richtet sich seit einigen Jahren auf eine Ausweitung der Herstellerverantwortung über die gesamte Produktlebensphase. Rücknahme und hochwertiges Recycling werden weltweit von den Gesetzgebern stärker gefordert. In Europa und Japan haben diese Bestrebungen im Bereich der Elektrotechnik/ Elektronik zu nationalen Verordnungen mit unterschiedlicher Tragweite geführt.

Das folgende Kapitel stellt die Gesetzgebungsaktivitäten bzw. Gesetzesentwürfe in Europa, Japan sowie den USA vor und beschreibt, welche inhaltlichen Schwerpunkte gesetzt werden.

##### 5.1.1 Deutschland

###### *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)*

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) ist seit dem 07.10.1996 in Kraft. Mit dem KrW-/AbfG wurde ein dem europäischen Recht angepasster, vorsorgeorientierter Abfallbegriff geschaffen. Das vorrangige Ziel des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes ist die Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft. Eckpunkte der neuen Gesetzgebung sind:

- konsequente Umsetzung des Verursacherprinzips
- Schaffung einer vermeidungsorientierten Pflichtenhierarchie (Vermeidung vor Verwendung vor Verwertung)
- die Gleichrangigkeit von stofflicher und energetischer Verwertung mit der Möglichkeit, den Vorrang per Rechtsverordnung für einzelne Abfallarten festzulegen
- die Produktverantwortung für die Produzenten (diese ist jeweils durch eine Rechtsverordnung zu konkretisieren)
- erweiterte Möglichkeiten zur Privatisierung der Entsorgung.

### ***Batterieverordnung***

Die Batterieentsorgung in Deutschland wird durch die im April 1998 in Kraft getretene Batterieverordnung geregelt. Hersteller von Batterien (oder deren Importeure) stehen für die in Deutschland vertriebenen Batterien in der Produktverantwortung. Dies beinhaltet den Aufbau eines Sammel- und Rücknahmesystems (bei Handel, Kommunen und Zerlegebetrieben) sowie die Entsorgung der Batterien gemäß den Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes.

Der Verbraucher ist seit dem 01.10.1998 verpflichtet, verbrauchte Batterien zurückzugeben, wobei er nicht nach Batterietyp, Hersteller oder Verkäufer unterscheiden muss.

## **5.1.2 Europäische Union**

Angesichts der mit der Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten verbundenen Umweltprobleme haben einige europäische Staaten bereits mit der Ausarbeitung nationaler Elektronikschrott-Verordnungen begonnen. Die Niederlande, Dänemark Schweden, Österreich, Belgien, Italien, Schweiz und Norwegen haben entsprechende Rechtsvorschriften vorgelegt bzw. verabschiedet. Der allgemeine Tenor dieser gesetzlichen Bestrebungen ist die vorsorgende Vermeidung von Umweltschäden durch das künftig wachsende Aufkommen an Altgeräten. Dabei wird von allen nationalen Gesetzesvorlagen die erweiterte Herstellerverantwortung als Rechtsgrundsatz ausdrücklich betont. Neben spezifischen Rücknahmevorschriften wird dem Recycling und der Schadstoffentfrachtung besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die nationalen Initiativen differieren allerdings sehr stark in den jeweiligen Vorgaben bezüglich der Sammlung und Behandlung von Altgeräten als auch der Finanzierung dieser Aktivitäten. Vor dem Hintergrund der anhaltenden Diskussion um eine generelle Elektronikschrott-Richtlinie der EU (WEEE) sind mehrere nationale Initiativen vorerst zurückgestellt worden.

### ***WEEE- / RoHS- / EEE-Richtlinie***

Seit nunmehr vier Jahren steht innerhalb der Europäischen Union der Entwurf für eine umfassende Elektroschrott-Richtlinie (Directive on Waste of Electronic and Electrical Equipment, WEEE) als auch ein darin enthaltenes Stoffverbot (Directive on restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment, RoHS) zur Diskussion. Am 13.06.2000 hat die EU Kommission den entsprechenden Richtlinienvorschlag offiziell angenommen und dem Europäischen Parlament weitergeleitet. Dabei wurde der bisherige Entwurf in zwei separate, aber miteinander in Beziehung stehende Direktiven geteilt:

#### **Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE)**

Die Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE) verfolgt ein klares umweltpolitisches Ziel. Grundsätzlich wird beabsichtigt, Abfälle von Elektro-

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

und Elektronikaltgeräten zu vermeiden bzw. durch vielfältige Formen der Produktgestaltung und -verwertung die Abfallmengen zu reduzieren. Die Richtlinie zielt darüber hinaus auf eine verstärkte Herstellerverantwortung und will Anreize schaffen, schon auf der Konstruktionsebene zu berücksichtigen, dass der Einsatz gefährlicher Stoffe verringert und die Rezyklierbarkeit der Produkte verbessert wird. Ob dieser Anspruch zum Tragen kommt, wird nach Meinung der Autoren entscheidend davon abhängen, in welcher Form die Rücknahme und das Recycling zukünftig herstellerspezifisch abgerechnet werden.

Entsprechend der in der Richtlinie dokumentierten Vorschriften soll der private Verbraucher die Möglichkeit bekommen, Altgeräte kostenfrei zurückgeben zu können. Die Geräte sollen für eine Übergangsfrist von bislang fünf Jahren separat durch die Kommunen und außerhalb der Herstellerverantwortung gesammelt werden. Der Handel ist allerdings bei Neukauf eines „ähnlichen“ Gerätes zur Rücknahme verpflichtet. Nach Ablauf der Übergangsfrist werden Hersteller und Importeure von Elektro-/ Elektronikgeräten zur Finanzierung der Rücknahme und Entsorgung, d.h. zum Recycling von Altgeräten aus privaten Haushalten verpflichtet. Kollektive als auch marktspezifische Sammelsysteme sind dabei generell zulässig.

Aufgrund der üblichen Geschäftspraktiken hinsichtlich der Rücknahme und des Recyclings von Investitionsgütern aus dem Bereich der industriellen Anwendung (business to business) sieht der Richtlinienentwurf neben einer allgemeinen Rücknahmepflicht keine spezifischen Auflagen vor.

Der Richtlinienentwurf macht genaue Vorgaben (Quoten) zur Sammlung und Verwertung von entsprechenden Altgeräten. So wird eine Sammelquote von 4 kg je Einwohner vorgeschrieben. Die Zielvorgaben für die Verwertung bzw. das Recycling von Altgeräten sind nach dem aktuellen Entwurf ab spätestens dem 31.12.2005 zu erfüllen. Für Elektro-/Elektronikschrott werden je nach Kategorie Verwertungsquoten von bis zu 80% des durchschnittlichen Gewichts eines Altgerätes und Wiederverwendungs- und Recyclingquoten für Bauteile, Werkstoffe und Substanzen von mindestens 50% des durchschnittlichen Gewichts der Geräte vorgeschrieben. Verwertung bezeichnet in diesem Zusammenhang alle Formen der Energieerzeugung, Kompostierung und Aufarbeitung aus bzw. von Altgeräten. Recycling umfasst alle Maßnahmen zur unmittelbaren Zurückgewinnung von Werkstoffen und Bauteilen aus Altgeräten. In den Geltungsbereich der aktuellen WEEE-Richtlinie fallen folgende Kategorien von Elektro- und Elektronikgeräten (in der Klammer stehen die Verwertungs- und Recyclingquoten in Prozent, wie sie im Artikel 6 des Richtlinienentwurfs vom 13.06.2000 vorgegeben sind):

- Haushaltsgroßgeräte (80/75)
- Haushaltskleingeräte (60/50)
- IT- & Telekommunikationsgeräte (75/65)
- Unterhaltungselektronik (60/50)
- Beleuchtungskörper (o.A./80)
- Elektrische und elektronische Werkzeuge (60/50)

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

- Spielzeuge (60/50)
- Medizinische Ausrüstung (o.A.)
- Überwachungs- und Kontrollinstrumente (o.A.)
- Automatische Ausgabegeräte (o.A.)

Für Altgeräte, die Kathodenstrahlröhren enthalten, ist die Verwertungsquote auf ein Minimum von 75% des durchschnittlichen Gewichts der Geräte und eine Wiederverwendungs- und Recyclingquote für Bauteile und Substanzen von mindestens 70% speziell festgelegt worden.

Dieser Richtlinienentwurf stellt hohe Forderungen an die Industrie. Dementsprechend wird der WEEE seitens der Industrie und ihrer Verbände z.T. sehr starker Widerstand entgegengebracht. Die Kritik richtet sich vor allem gegen die als unrealistisch eingeschätzten Recycling- und Verwertungsquoten, die nach Meinung der Industrievertreter auf falschen Annahmen beruhen. So orientieren sich die Vorschläge an den existierenden hohen Quoten der herstellereigenen Rücknahmesysteme, wo fast ausschließlich sortenreine und eher moderne Geräte aus dem gewerblichen Bereich anfallen. Mit der geforderten Rücknahme von „historischen“ Alt-/Altgeräten aus dem privaten Umfeld entstehen weitaus größere Probleme hinsichtlich der Aufbereitung. Zudem widerspricht die Richtlinie im Verständnis der Industrie dem Verbot einer rückwirkenden Gesetzgebung. Gleiches gilt für die Rücknahmeverpflichtung für Fremdgeräte, die der betreffende Hersteller nicht selbst auf den Markt gebracht hat. An dieser Stelle werden geeignetere Finanzierungsmechanismen gefordert. Die deutsche Elektrotechnik- und Elektronikindustrie fordert über ihren Verband ZVEI die Schaffung europaweit einheitlicher Möglichkeiten zu Kooperation von Herstellern bei der Entsorgung und zum getrennten Ausweis der Entsorgungskosten (visible fee) auf den Rechnungen. Dieser konservative Ansatz einer „visible fee“ würde – wie bereits an anderer Stelle näher ausgeführt - bedeuten, dass die Kosten nicht herstellerspezifisch ausgewiesen werden. Somit entfällt sicherlich ein bedeutender Anreiz zur Entwicklung recyclinggerechter und damit umweltfreundlicher Produkte. In diesem Punkt zeigt die Industrie ein heterogenes Bild. So setzt sich eine beträchtliche Zahl führender Hersteller für eine herstellerspezifische Abrechnung ein. Die Integration der antizipierten Recyclingkosten in den Verkaufspreis fördert aus Sicht der Gegner einer vereinheitlichten „visible fee“ den Wettbewerb und die Bemühungen um einen produktintegrierten Umweltschutz.

Ein letzter Streitpunkt ist der rechtliche Rahmen in dem das Gesetz zur Wirkung kommen soll. Die Industrie wünscht eine gesetzestechnische Gründung der Richtlinie auf Artikel 95 des EG-Vertrages von Amsterdam (Vereinheitlichung des Binnenmarktes), da dies eine nationale Verschärfung der Richtlinie verhindert. Derzeit beruht der Richtlinienentwurf auf Artikel 175 (Umweltschutz) des EG-Gründungsvertrages.

**RoHS (Reduction of Hazardous Substances)**

In der vorläufigen Fassung der Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektr(on)ischen Geräten (RoHS) vom

## Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

13.06.2000 ist vorgesehen, den Gebrauch von Blei, Cadmium, Quecksilber, sechswertigem Chrom (Chrom VI) sowie bromhaltiger Flammschutzmittel (PBB und PBDE) mit Beginn des Jahres 2008 zu untersagen. Diese Richtlinie basiert auf Artikel 95 (Vereinheitlichung des Binnenmarktes) des EG-Vertrages von Amsterdam und verhindert eine Verschärfung entsprechender nationaler Verordnungen. In der Richtlinie ist eine weitgehende Öffnungsklausel für *gerecht-fertigte Ausnahmen* - Investitionsgüter sind von Designvorgaben und Stoffverboten ausgenommen - vorgesehen.

Bei folgenden Anwendungen wird der Einsatz von Schwermetallen toleriert:

- Quecksilber in Laborgeräten, Energiesparlampen (max. 5 mg je Röhre), Leuchtstoffröhren (max. 10 mg je Röhre), Leuchten, die im Anhang nicht gesondert aufgeführt sind.
- Blei als Strahlenschutz, im Glas von Kathodenstrahlröhren, Glühlampen und Leuchtstoffröhren, in Legierungen von Aluminium (max. 0,4% Gewichtsprozent), Stahl (max. 0,3 Gewichtsprozent), von Kupfer (max. 4% Gewichtsprozent) sowie in keramischen Elektronikbauteilen.
- Cadmium als Cadmiumoxid auf der Oberfläche von Selen-Fotozellen sowie als Cadmiumpassivierung (Antikorrosionsmittel) für spezifische Anwendungen.
- Cadmium, Quecksilber und Blei in Hohlkathodenlampen für die Atomabsorptionsspektroskopie und anderen Messinstrumenten für Schwermetalle.
- Sechswertiges Chrom als Antikorrosionsmittel des Kohlenstoffstahl-Kühlsystems in Absorptions-Kühlschränken.

### **EEE-Richtlinie (allgemeine Umweltaspekte)**

Die WEEE-Richtlinie weist im Erwägungsgrund 11 (volkswirtschaftliche Bewertung) und an anderer Stelle auf die wirtschaftliche und umweltpolitische Notwendigkeit hin, bereits sehr bald – „as quickly as possible“ - einen Richtlinienentwurf zur Integration von Umweltaspekten für elektrische und elektronische Geräte vorzulegen. Gemeint ist damit die horizontale "new approach"-*Directive on the impact on the environment of electrical and electronic equipment* (EEE).

Die Version 1.0 der EEE-Richtlinie vom Februar 2001 zielt auf die Harmonisierung von Anforderungen an ein umweltgerechtes Design elektrischer und elektronischer Erzeugnisse zur Sicherstellung des Warenverkehrs innerhalb der Europäischen Union. Die Design-Anforderungen dienen dem Ziel einer effektiveren Nutzung von Ressourcen und zur Erlangung eines hohen Niveaus des Umweltschutzes im Sinne einer Nachhaltigen Gesellschaft. Im Einzelnen werden folgende Absichten zum Ausdruck gebracht:

- Die Richtlinie spezifiziert Bestimmungen zur Beschaffenheit (Design) von elektrischen und elektronischen Produkten hinsichtlich der Gewährleistung eines Umweltschutzes auf hohem Niveau und im Einklang mit ökonomischen und leistungsbezogenen Produkterfordernissen.
- Hersteller sollen Produkte und Fertigungsverfahren dahingehend untersuchen, negative Umweltauswirkungen zu senken und durch eine verbesser-

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

te Gestaltung den Energie- und Rohstoffverbrauch sowie den Schadstoffgehalt zu vermindern.

- Eine optimiertes Design soll eine leichte Wartung, Reparatur, Aufrüstung, Demontage, Wiederverwendung und Recycling der Produkte ermöglichen.
- Hersteller und deren Zulieferer sind angewiesen Informationen zur Materialbeschaffenheit, Materialherkunft, zum Energieverbrauch und wenn verfügbar LCA-Daten bereitzustellen.

*Design- und Materialanforderungen (EEE)*

- Allgemeine Designanforderungen
  - Optimierung der Produktlebensdauer
  - Schaffung von Aufrüstungskapazitäten (upgrading)
  - Möglichkeiten zur Aufarbeitung und Wiederverwendung mit hohen Leistungsniveau schaffen
- Design für Instandhaltung
  - leicht ersetzbare und reparierbare Bauteile
  - Minimierung von Abfall während der Wartung
- Design für Demontage
  - leichte Demontage mit normal verfügbaren Werkzeugen
  - Bauteile sind reuse- bzw. recyclinggerecht zu gestalten
  - leicht trennbare und rezyklierbare Materialien
  - qualitativ hochwertige Rezyklate in Neuprodukten verwenden
- Emissions- und Ressourcenschutz
  - Reduzierung des Rohstoffeinsatzes (Vermeidung)
  - Nutzung erneuerbarer Rohstoffe
  - Substitution toxischer Prozesse und Nutzung schadstoffarmer Alternativen
  - Abfallvermeidung, Recycling von unvermeidbaren Abfällen (Kreislauf-führung)
  - Ermittlung der Umweltwirkung von Materialien, Geräten und Abfällen
  - Kategorisierung und klare Deklaration der Abfallströme
- Fertigungsverfahren
  - Optimierung von Fertigungsprozessen zur Vermeidung von Abfällen, geschlossene Kreislaufführung von toxischen und wertvollen Stoffen sowie allgemeine Senkung des Energie- und Rohstoffeinsatzes
  - Verwendung rezyklierter Komponenten und Geräte
- Nutzungsphase von Geräten und Ausrüstung
  - stromsparende Nutzungskonzepte für Geräte und Ausrüstungen unter Beachtung von Leistungs- und Sicherheitsanforderungen
  - neue Flammschutzkonzepte und –mittel zur Vermeidung von potenziell gefährlichen (halogenierten) Flammschutzmitteln
  - Vermeidung bzw. Reduzierung von potenziell gefährlichen Emissionen und von Abfällen während des Betriebs
- Sammlung, Aufbereitung und Entsorgung von Altgeräten
  - angemessene Produkt- und Materialkennzeichnung zur Erleichterung und Sicherung der Aufbereitung und Entsorgung von Altgeräten

## Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

- Bereitstellung von Informationen über Wiederverwendungs- bzw. Weiterverwertungsmöglichkeiten für den Nutzer von Geräten und Anlagen durch die Produzenten
- Bereitstellung von Informationen zur sicheren Entsorgung von Geräten
- Bereitstellung von Informationen zum allgemeinen Abfallmanagement entsprechender Produkte

Der Warenverkehr von elektrischen und elektronischen Produkten innerhalb der EU ist nach Art. 8 EEE gewährleistet, wenn ein Produkt das CE-Zeichen trägt, von einem EMAS zertifizierten Hersteller stammt oder den in Annex II EEE aufgeführten Design-Richtlinien entspricht.

### ***Integrated Product Policy (IPP) Aktivitäten der EU***

Die Europäische Kommission hat am 08.02.2001 ein sogenanntes Grünbuch über Integrierte Produktpolitik verabschiedet. Kernziel ist die Berücksichtigung der Umweltleistung einer breiten Palette von Produkten über deren gesamten Lebenszyklus bereits in der Konzipierungsphase. Es wird zudem eine Strategie zur Konsolidierung und Neuausrichtung der produktbezogenen Umweltpolitik mit dem Ziel vorgeschlagen, die Entwicklung eines Marktes für ökologisch gerechte Produkte zu fördern. Damit ist das Grünbuch ein wichtiger Schritt bei der Umsetzung des 6. Umweltraumprogramms.

*Die IPP hat drei übergeordnete Ziele:*

- Ankurbelung der Verbrauchernachfrage nach umweltfreundlichen Produkten durch verschiedene Arten der Umweltkennzeichnung und Verbraucherinformation
- Verwendung des Preismechanismus zur Entwicklung von Märkten für umweltgerechte Produkte. Instrumente sind z.B. eine differenzierte Besteuerung wie niedrigere Mehrwertsteuersätze für Produkte mit Umweltzeichen, Ausweitung der Herstellerhaftung und neue staatliche Umweltschutzbeihilfen
- Anreize für Unternehmen, das Angebot von umweltfreundlichen Produkten auszuweiten. Maßnahmen können Leitlinien für Ökodesign, die Berücksichtigung von Umweltaspekten bei der Normung, Bereitstellung von Lebenszyklusinformationen und die Schaffung von Produktgremien sein.

Instrumente und Anreize für eine Vorreiterrolle der Wirtschaft bei der Umstellung der Produktion auf umweltfreundliche Produkte sind:

#### *Bereitstellung von Produktinformationen*

- Hersteller sollen das Umweltprofil der Komponenten ihrer Produkte kennen
- LCA-Daten sollen für Konstrukteure leicht zugänglich sein und in den Designprozess einfließen
- Hersteller sollen Informationen in leicht zugänglicher Form an Verbraucher und Abnehmer weitergeben

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

- Händler und Verbraucher müssen erkennen können, welche Produkte umweltfreundlich sind

*Leitlinien für das Produktdesign*

- Design im Hinblick auf eine Optimierung der Produktion und Nutzung
- geringere Masse, Einfachheit, Baukastenprinzip, Multifunktionalität
- Langlebigkeit durch klassisches Design, Berücksichtigung künftiger Erfordernisse, Modernisierbarkeit, Reparatur- und Wartungsfähigkeit
- Sparsamer Umgang mit Ressourcen
- Verwendung recyclingfähiger und wiederaufgearbeiteter Materialien
- Nutzung erneuerbarer Ressourcen
- Energiesparende Fertigungsprozesse und minimaler Energieverbrauch von Produkten
- Reduzierung des Abfallaufkommens
- geschlossene Kreislaufführung von Materialien und Betriebsmitteln
- Vermeidung von Abfällen
- Wiederverwendung und Recycling von Produkten und Komponenten durch Reduzierung der Materialvielfalt, einfache Demontage und besseres Informationsmanagement
- Abbau der Schadstoffbelastung
- Reduktion bzw. Ersatz von gefährlichen, toxischen oder anderweitig umweltschädigenden Materialien in Produkten und Prozessen
- Verringerung von Gefahren und Risiken

*Normung und das "neue Konzept"*

- Vorschläge zur besseren Nutzung der Normung im IPP-Konzept
- Erarbeitung von Normen und anderen konsensgetragenen Instrumenten, die für den Umweltschutz relevant sind
- Einbeziehung von Umweltaspekten in den Prozess der europäischen Produktnormung
- Erarbeitung und Anwendung von Umwelleitlinien für die Formulierung neuer und die Anwendung bestehender Produktnormen

***EU-Richtlinie zur Förderung der Energieeffizienz in der Beleuchtungstechnik***

Ab Mitte 2002 ist es verboten, konventionelle Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen (KVG) der Klasse D innerhalb des EU-Marktes in Verkehr zu bringen. Ab 2005 werden Geräte der nächsthöheren Effizienzklasse C aus dem Verkehr gezogen. Da diese Entwicklung mit dem Trend zu energieeffizienten Beleuchtungssystemen mit elektronischen Komponenten zusammenfällt, wird seitens des ZVEI zumindest von der ersten Stufe der neuen Richtlinie keine größere Veränderungen im Markt erwartet.

Nach Angaben des Fachverbands Elektroleuchten im ZVEI wird in Deutschland bereits jetzt etwa ein Drittel aller neuen Beleuchtungsanlagen für Leucht-



stofflampen mit energieeffizienten elektronischen Vorschaltgeräten ausgerüstet (mit einem bis zu 80 Prozent höheren Wirkungsgrad).

### 5.1.3 USA<sup>41</sup>

Die produkt- und produktionsbezogene Umweltgesetzgebung der Vereinigten Staaten von Amerika wird von spezifischen Gesetzen zum Emissionsschutz (Clean Air Act, CAA; Pollution Prävention Act, PPA), zum Gesundheitsschutz (Occupational Safety and Health Act, OSHA; Chemical Safety Information, Security and Fuels Regulatory Relief Act) und Gesetzen zum Umgang mit gefährlichen Abfällen (Resource Conservation and Recovery Act, RCRA) geprägt. Das RCRA-Gesetz kontrolliert beispielsweise die Handhabung von kritischen Chemikalien von ihrer Generierung bis zur Entsorgung. Diese eher reaktive Politik greift einzelne Schwerpunktbereiche (z.B. Schadstoffe) auf und hat in der Vergangenheit zu einem hohen Regulierungsgrad in Teilbereichen der industriellen Fertigung geführt. Proaktive Ansätze im Einklang mit der Industrie auf der anderen Seite, welche eine gezielte Verbesserung einzelner Probleme und Systemlösung anstreben, sind nach Meinung von Greg Pitts in den USA traditionell nicht gegeben. Freiwillige Aktivitäten der Unternehmen hinsichtlich einer Verbesserung des Umweltschutzes werden im Verständnis der Unternehmen vom Staat nicht gebührend honoriert. Die Industrie beklagt daher die unflexible, eher hinderliche Umweltpolitik und -gesetzgebung.

Dass es trotz der unbefriedigenden Gesetzeslage sehr positive Entwicklungen im Bereich des Umweltschutzes gibt, kann möglicherweise auf eine Reihe von exemplarischen Initiativen der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) zurückgeführt werden. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick über die aktuellen Initiativen der EPA zur Förderung eines integrierten Umweltschutzes:

- **WasteWise Initiative**, ist ein freiwilliges Programm mit über 1000 Teilnehmern aus Industrie und öffentlichen Organisationen. Das Programm fördert durch organisatorische und technische Unterstützung u.a. das Recycling und die Wiederverwertung von Elektronikerezeugnissen.
- **Common Sense Initiative (CSI)** startete 1994 in der Absicht saubere, billige und smarte Lösungen für industrielle Produkte und Prozesse anzuregen. Die Initiative konzentriert sich auf bisher sechs Industriezweige, darunter die Computer- und Elektronikindustrie.
- **Electronic Products Recovery and Recycling Project** hat sich aus der Common Sense Initiative der EPA heraus zu einem selbständigen Projekt entwickelt, das als Informationsforum für die Durchsetzung der CSI für Computer- und Elektronikprodukte dient.
- **Environmentally Preferable Purchasing Program** hat eine Datenbank erstellt, die u.a. beim Kauf von Elektronik-Geräten wichtige umweltrelevante Information bereitstellt.

---

<sup>41</sup> Bei der Erhebung der internationalen Entwicklungen wurde auf einen Unterauftrag an Greg Pitts, Executive Director of Ecolibrium in Ithaka, NY, USA; ehemaliger Leiter des *Environmental Programs* der MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation) in Austin und Koordinator der *Environmental Roadmaps of Electronics Industry* der USA zurückgegriffen.

- **Energy Star** ist eine freiwillige Partnerschaft zwischen der EPA, dem Department of Energy, Herstellern und regionalen Organisationen bzw. Dienstleistungsunternehmen, die Effizienz des Energieverbrauchs von Elektronikprodukten zu verbessern. Zur Kennzeichnung entsprechender Produkte wurde das Energy Star Logo entwickelt.
- **Computer for Learning** ist ein Programm zur Weiterleitung von gebrauchten Computern aus öffentlichen Institutionen an Bildungseinrichtungen. 1997 wurde etwa 17 000 Geräte an Schulen und Kindergärten weitergegeben und so eine sinnvolles ReUse-Konzept verwirklicht.

Darüber hinaus lässt die Recherche des amerikanischen Experten Greg Pitts den Schluss zu, dass die U.S. Industrie gerade auf dem Gebiet der Entwicklung umweltgerechter Werkstoffe und Fertigungstechnologien beachtliche Erfolge aufzuweisen hat. Dieser aus Sicht eines Integrierten Umweltschutzes positive Trend basierte vorrangig auf veränderten wirtschaftlichen Anforderungen der letzten Jahre und war weniger an umweltpolitische Vorgaben gebunden. Der intensive Wettbewerb in der Elektronikbranche hat die Kosteneffizienz zum entscheidenden Managementaspekt bei den Herstellern werden lassen. Neue Modelle für den kostensparenden Umgang mit Energie, Wasser und anderen wichtigen Rohmaterialien haben indirekt zu einer Entlastung der Umwelt beigetragen. Führende Hersteller, wie IBM beispielsweise, sind aus Gründen einer schnelleren Implementierung von kosten- und ressourcensparenden Methoden dazu übergegangen, die Aktivitäten von vormals separat in *small business units* (SBU) agierenden Trägern dieser Entwicklung – zu meist hoch motivierte Einzelpersonlichkeiten oder kleinere Teams - in das allgemeine Unternehmensmanagement zu integrieren. Aktives Umweltmanagement wird auch verstärkt durch die Börse honoriert. Der Aktienmarkt reagiert sehr positiv auf kosteneffiziente Managementmodelle, die zu einer Umweltentlastung führen.

In den USA gibt es derzeit keine nationale Verordnung, die eine Rücknahme und ein Recycling von Elektro- und Elektronikerzeugnissen regelt. Dies wird grundsätzlich auf die enorme geographische Ausdehnung des Landes und der zur Verfügung stehenden Deponiekapazitäten einerseits, aber auch auf die heterogene Verwaltungsstruktur der USA zurückgeführt. Die Schaffung eines flächendeckenden Rücknahme- und Recyclingsystems scheint durch die USA nicht beabsichtigt. Für den Februar 2001 wird allerdings eine RCRA-Richtlinie erwartet, welche die Verantwortung für das Recycling von Bildröhren regeln soll.

Auf staatlicher Ebene sind derzeit nur zwei Ministerien an einer verbesserten Rückführung und Entsorgung von Elektro- und Elektronikschrott interessiert. Das Verteidigungsministerium (DoD) und Energieministerium (DoE) der USA fördern aus Gründen der Sicherstellung von sensiblen Technologien und Informationen (DoD) sowie eines geregelten Umgangs mit kritischen bzw. hochwertigen Materialien aus Altgeräten das Recycling von Elektroschrott durch aufwendige Forschungsprogramme.

## Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

In den Bundesstaaten und Kommunen gibt es tendenziell Bemühungen, die den Umgang mit Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie kritischen Stoffen (Blei, Quecksilber und Cadmium) stärker regeln sollen. Als ein Beispiel ist hier das Verbot der Endlagerung von bleihaltigen Bildröhren auf Deponien zu nennen, welches von den Staaten Massachusetts, Minnesota und Florida angestrebt wird. Eine Kennzeichnung von Produkten, die Quecksilber beinhalten, wird auf der Ebene anderer Bundesstaaten diskutiert. Auch in diesem Fall steht ein Verbot zur Endlagerung auf Deponien in der Diskussion. Als erster Bundesstaat hat New Hampshire 1999 ein Gesetz zum Verbot des Einsatzes von Quecksilber in allen Produkten verabschiedet.

Unmittelbare Auswirkungen hinsichtlich eines integrierten Umweltschutzes haben parallel zu den offiziellen Gesetzesanforderungen die unterschiedlichen Industrienormen und „Quasi-Selbstverpflichtungen“ in den USA. Die strenge Brandschutznorm UL 94V-0 ist ein solch umstrittener Standard. Er wird als ein Grund angegeben, warum weiterhin halogenierte Flammschutzmittel in vielen Elektronikzeugnissen weltweit Verwendung finden.

### 5.1.4 Japan<sup>42</sup>

Japans Ansatz einer industriellen Umweltpolitik orientierte sich über lange Jahre an der Lösung aktueller Problemlagen durch Regulierungen. Erst zu Beginn der 1990er Jahre wandelte sich diese reaktive Ausrichtung zu einem mehr präventiven Umweltschutz durch gezielte strukturelle Reformen. So wurden seit 1993 eine Vielzahl spezifischer Abfall- und Recyclinggesetze verabschiedet, die gleichermaßen auf die Wirtschaft als auch auf die Gesellschaft wirken.

#### ***Novelle des japanischen Umweltgrundgesetzes***

Im Juni 2000 wurde das bereits im Jahr 1993 völlig überarbeitete japanische Umweltgrundgesetz (Basic Environmental Law) novelliert und um ein neues Rahmengesetz zur Schaffung einer recycling-orientierten Gesellschaft (Basic Law for Establishing the Recycling-based Society) erweitert. Diese novellierte Gesetzgebung folgt dem Konzept der erweiterten Herstellerverantwortung im Sinne der ERP-Richtlinie (Enlarged Responsibility of the Producer) der OECD. Der Gesetzgeber verfolgt hiermit das Ziel, einen sozialen Wandel und ein höheres ökologisches Engagement der Wirtschaft durchzusetzen. Er fordert vor allem die Vertreter der Industrie auf, Strategien und Visionen für ein ressourcensparendes und umweltfreundlicheres Management zu entwickeln und diese in den Markt zu integrieren. Der Staat sieht die Unternehmen in einer aktiven Vorreiterrolle für einen sozialen Wandel in Richtung einer *Nachhaltigen Gesellschaft*.

---

<sup>42</sup> Bei der Erhebung der internationalen Entwicklungen wurde auf einen Unterauftrag an Prof. Tadatomo Suga, University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology, RCAST; Koordinator mehrerer vom MITI geförderten umweltbezogener Elektronikprojekte in Japan und beteiligt an der Erstellung der *Environmental Roadmap* der Japanese Electronics Industry Association (JEIDA) zurückgegriffen.

### ***Rahmengesetz zur Schaffung einer recycling-orientierten Gesellschaft***

Japan hat mit dem neuen Rahmengesetz zur Schaffung einer recycling-orientierten Gesellschaft einen ersten wichtigen Schritt zur Förderung des Prinzips der nachhaltigen Entwicklung getan und seine Wirtschaft im starken Maße in diesen Prozess eingebunden. Das Rahmengesetz umfasst derzeit sieben Gesetze:

- Waste Management and Public Cleansing Law (revised)
- Law for Promotion of Effective Utilization of Resources (organized)
- Container and Packaging Recycling Law (already enacted)
- Electric Household Appliance Recycling Law (already enacted)
- Construction Material Recycling Law (newly enacted)
- Food Recycling Law (newly enacted)
- Law on Promoting Green Purchasing (newly enacted)

Als Tenor der neuen Gesetzgebung wird von den Produzenten eine stärkere Verantwortung über die gesamte Produktlebensphase gefordert und folgende Prioritäten im Bereich der Abfallentsorgung und des Recycling gesetzt:

- Abfallvermeidung und -verminderung
- Wiederverwendung von Produkten und Komponenten
- Recycling von Rohstoffen
- Abfallbeseitigung (Verbrennung) mit Wärmekopplung
- Sachgerechte Endlagerung bzw. Entsorgung von nicht recyclingfähigen Produkten

Für die Elektrotechnik/ Elektronik ist das Gesetz zum Recycling von ausgewählten Elektro-Haushalts-Geräten (Electric Household Appliance Recycling Law) als auch das sogenannte Gesetz zur Förderung eines grünen Einkaufs (Law on Promoting Green Purchasing) von entscheidender Bedeutung. Sie sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden:

#### ***Law on Promoting Green Purchasing***

Das Gesetz tritt am 01.04.2001 in Kraft und fordert vor allem von öffentlichen Institutionen die Anschaffung von umweltfreundlichen Geräten. Die Regierung wird verpflichtet, Informationen über umweltfreundliche Produkte zu sammeln und die Ergebnisse in einem jährlichen Bericht zu veröffentlichen. Des Weiteren werden Unternehmen und Privatpersonen dazu angehalten, im Rahmen der in allen neuen Gesetzen propagierten Eigenverantwortung bevorzugt umweltfreundliche Produkte zu kaufen.

#### ***Electric Household Appliance Recycling Law***

Das 1998 verabschiedete und am 01.04.2001 in Kraft tretende Gesetz verpflichtet alle Vertreiber und Hersteller von Elektrogeräten zur Rücknahme, si-

## Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

chere Rückführung und zum Recycling von bislang vier Haushalts-Elektrogeräten (Waschmaschinen, Kühlschränke, Klimaanlage und Fernseher).

Nach dem Gesetz müssen die Hersteller alle zurückgeführten Altgeräte nach Warengruppen sortieren und in ihre Baugruppen zerlegen. Besondere Vorkehrungen zur Rückgewinnung von FCKW aus Kühlaggregaten sind zu treffen. Das Gesetz verlangt eine Mindestrecyclingquote von:

- 60% bei Klimaanlage,
- 55% bei Fernsehern,
- 50% bei Waschmaschinen,
- 50% bei Kühlschränken

Die Rücknahme- und Recyclingkosten sind vom Verbraucher zu tragen und werden als Gebühr bei Abgabe der Altgeräte erhoben. Die Gebühren werden nicht vom Gesetzgeber festgelegt. Im September 2000 haben sich führende Elektronikhersteller freiwillig auf ein einheitliches Gebührensystem geeinigt.

## 5.2 Forschungsaktivitäten „Elektrotechnik/ Elektronik und Umwelt“

### 5.2.1 Auswertung Electronics Goes Green 2000+

Auf der im September letzten Jahres in Berlin veranstalteten Tagung „Electronics Goes Green 2000+“ wurden Status Quo und Trends im Bereich Elektro/ Elektronik und Umwelt unter starker deutscher Beteiligung vorgestellt. Die Tagung gab einen guten Überblick über aktuelle und zukünftige Aktivitäten in Deutschland.<sup>43</sup>

#### *Session 1: Green Interconnection Systems*

Der inhaltliche Schwerpunkt der Session „Green Interconnection Systems“ lag beim bleifreien Lötens und bei halogenfreien Substratmaterialien (16 bzw. 6 von insgesamt 25 Vorträgen), was auch die gegenwärtigen Hauptthemen der politischen und fachlichen Diskussion zum Thema „Aufbau- und Verbindungstechnik in elektronischen Produkten“ widerspiegelt.

In den meisten Vorträgen wurden die technischen *und* auch die umweltbezogenen Auswirkungen des Wandels hin zu bleifreien bzw. halogenfreien Technologien thematisiert. Dabei äußerte sich die Mehrzahl der Vortragenden positiv zum Trend des bleifreien Lötens, insbesondere was die – oftmals angezweifelte – Verbesserung des Umweltverhaltens der Elektronikprodukte angeht. Kritische Stimmen waren in der Minderzahl. Auch der Überblick über den derzeitigen Stand der diesbezüglichen Bemühungen, entsprechende For-

---

<sup>43</sup> Alle Vorträge sind im Tagungsband abgedruckt: H. Reichl, H. Griese (Hrsg.), Electronics Goes Green 2000+, VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 2000

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

schungsprojekte und Gesetzgebung wurde in verschiedenen Vorträgen erörtert.

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse zu Stoff- und Materialeigenschaften sowohl von bleifreien Loten als auch von alternativen Flammhemmern (z.B. P. Hedemalm et al., Orango Schweden, und M. Stutz, Motorola Germany) wiesen allesamt auf den fortbestehenden Untersuchungsbedarf zum Umweltverhalten der Ersatzmaterialien, z.B. durch ökobilanzorientierte Untersuchungen, hin.

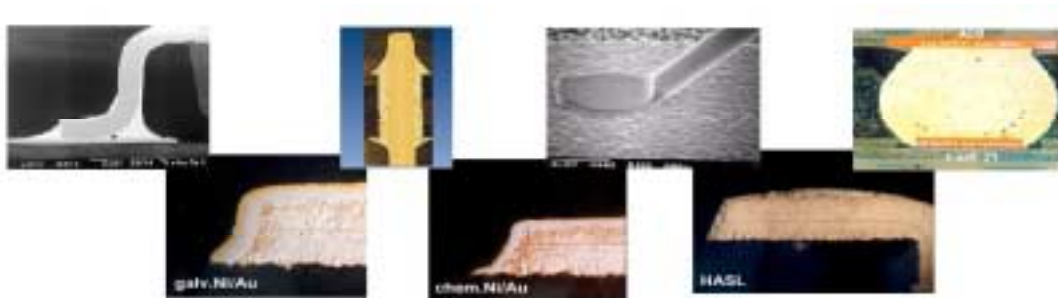


Abbildung 6: *Zur umweltgerechten Gestaltung elektronischer Verbindungssysteme müssen Basismaterial, Metallisierung von Leiterstruktur und Bauelementen sowie Verbindungsmedium optimiert werden.*

Auch detaillierte Marktuntersuchungen zum materiellen und finanziellen Volumen des angestrebten Technologiewandels mit tragfähigen Szenarien für die zukünftige Entwicklung fehlten weitgehend in den Vorträgen der Session.

Am deutlichsten waren die Aussagen aus technischer Sicht. Als gangbare Alternativen zu Zinn-Blei-Loten wurden durchweg silberhaltige Zinnlegierungen unterschiedlicher Zusammensetzung aufgeführt, während Bismut- und Zink-Lote skeptischer beurteilt wurden. Auf dem Feld der halogenfreien Flammhemmer waren keine eindeutigen Materialalternativen zu erkennen. Der Trend geht dort bisher zu firmenspezifischen Lösungen der Hersteller von Substratmaterialien; eine Offenlegung der eingesetzten Substanzen wird bisher vermieden.

Zukunftsweisende Betrachtungen mit prinzipiellem oder längerfristigem Charakter waren in der Minderzahl und wurden bezeichnenderweise von japanischen Vortragenden gebracht (Hayashi, Fujikura Japan, zu Designprinzipien der AVT und Takahashi, Tokyo Institute of Technology Japan, zur Ausnutzung von Adhäsionskräften für die Verbindungstechnik).

### **Session 2: Design For Environment**

Der Inhalt der Session „Design for Environment“ (DfE) wurde in 18 Vorträgen und 3 Postern geprägt von der Suche nach geeigneten Arbeitsabläufen und

Methoden, mit denen der Ansatz des DfE in den Produktentwurfsprozess integriert werden kann.

Dabei sind zunächst die Stufen des Entwurfsprozesses zu bestimmen, in denen die Berücksichtigung von Umweltaspekten möglich und sinnvoll ist. Weiter sind die Personenkreise (einschließlich der Kunden) festzulegen, die an dem Gestaltungsprozess und an einer Bewertung in spezifischer Weise teilnehmen.

Einen breiten Raum in den Vorträgen nahm die Suche a) nach an den Erfordernissen der einzelnen Entwicklungsstufen angepassten Bewertungswerkzeugen und b) nach quantifizierbaren Metriken für die Bewertung der Umweltwirkungen eines Produkts in der jeweiligen Entwicklungsstufe ein. In den Vorträgen wurden deshalb häufig die zu diesem Thema entwickelten Toolboxes aus verschiedenen Werkzeugen für die unterschiedlichen Entwicklungsstufen vorgestellt.

Die Entwicklung und die beispielhafte Anwendung einer DfE-Toolbox für Telekommunikationsprodukte wurde in einem belgischen Beitrag vorgestellt. Darin sind qualitative Bausteine wie Design Guidelines, halbquantitative Bausteine wie Klassifikationsschemata nach ERP- oder MET-Matrixmethoden und auch rechnergestützte, quantitative Bewertungsverfahren enthalten. Diese werden durch unternehmensweite, übergreifende Arbeitsgruppen (panels) mit unterschiedlichen Sichtweisen in einem iterativen Prozess angewendet, um Prioritäten und kritische Faktoren zu ermitteln.

Auf die drei Entwicklungsphasen „Konzeptentwicklung, Detailliertes Design und Prototypenherstellung“ ging der Vortrag über die Einführung eines „Green Design Advisors“ in ein international agierendes Unternehmen ein. Er benennt Arbeitsschritte, Methoden und Quantifizierungstiefen auf jeder dieser Ebenen. Zu den numerischen Metriken, die im Laufe des Entwurfsprozesses eingeführt werden, gehören die Anzahl der Materialien, die Produktmasse, der Energiebedarf in der Nutzungsphase, ein Toxizitätsindex, der Recyclatgehalt, die Rezyklierbarkeit, Demontagezeiten und der End-of-Life-Wert. Für die Berechnung der recyclingbezogenen Parameter kann das am FAPS Erlangen entwickelte und ebenfalls in dieser Session vorgestellte Demontage- und Recycling-Optimierungswerkzeug eingesetzt werden.

Wie mittelständische Unternehmen ihrer Verantwortung zur Veröffentlichung von Umweltinformationen und mit der produktbezogenen Stoff- und Energiebilanz umgehen, war Thema eines dänischen Beitrags. Online wurde die Materialzusammensetzung eines Produktes aus der Datenbank des Unternehmens abgerufen, einschließlich der Hinweise zu gefährlichen, Grenzwerte überschreitenden Substanzen, zur Demontage und zum Recycling. Dies wurde möglich durch eine Datenbank mit Stoffen, Bewertungen nach ECO-Punkten und Stücklisten, die aus dem betrieblichen SAP-System abgefragt werden. So ist zumindest eine Teil-LCA innerhalb der Betriebsgrenzen möglich.

Als allgemeiner Trend zeichnet sich ab, dass die sehr großen Mengen von relevanten Informationen in diesem Bewertungs- und Gestaltungsprozess durch geeignete Informationsmanagementsysteme verwaltet und transportiert werden müssen. Die Entwicklung dieser Informationssysteme rückt daher verstärkt in den Fokus von DfE-Projekten.

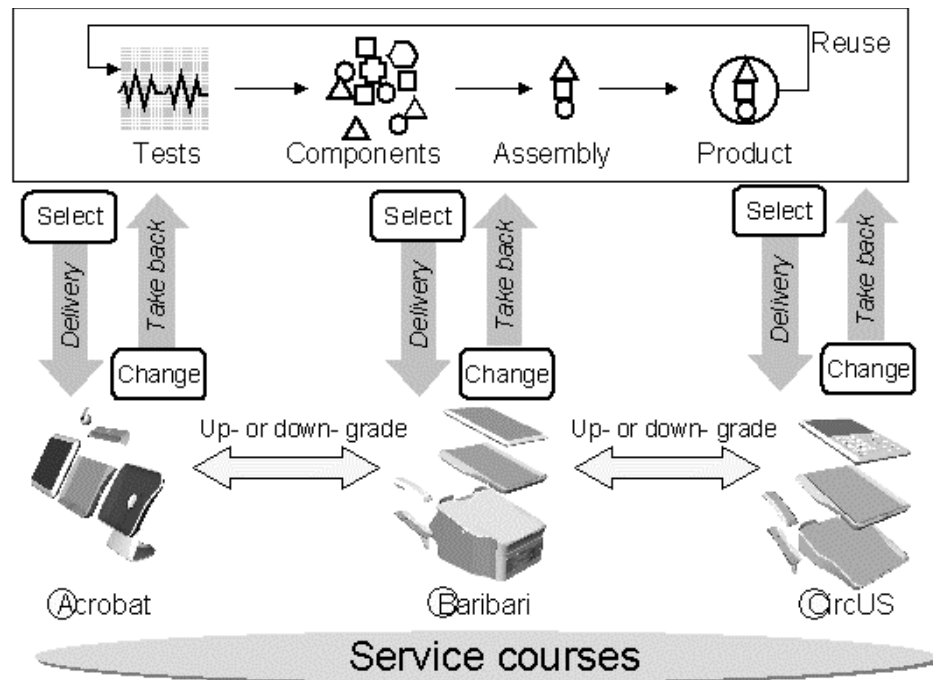


Abbildung 7: Anwendung des Konzepts des Service-orientierten Produkts auf eine Faxgeräte-Gruppe (Quelle: J. Fujimoto, Proc. EGGG 2000+, S. 209)

Besonders aus Japan kamen Berichte über Verbindungen von innovativen Marketingkonzepten mit DfE: Modular aufgebaute Produktreihen mit hohem Wiederverwendungsgrad der einzelnen Funktionsgruppen werden für den Konsumerbereich der Telekommunikation entwickelt und vermarktet. Im Marketing stehen dabei Leasingkonzepte und Verkauf von Dienstleistungen im Vordergrund, die erst die Weiternutzung von Komponenten ermöglichen. In Abbildung 7 ist der Entwurf für eine derartige Produktreihe dargestellt.

### Session 3: End of Life

Den End-of-Life Aspekten von elektronischen Produkten widmeten sich auf der Tagung Electronics Goes Green in sechs Abschnitten ca. ein Fünftel der Beiträge. Die Bandbreite reichte von Fallbeispielen, Technologieentwicklung und deren Anwendung über die Gestaltung der notwendigen Logistik bis hin zu Zukunftsvisionen in Form von ReUse und den dazugehörigen ReUse- bzw. Repair-Netzwerken. Zum Teil softwarebasierte Methoden zur Bewertung und Simulation von Logistikabläufen, Zerlege- und Aufarbeitungsprozessen sowie von Produkten vervollständigten das dargebotene Programm.



Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

Als ein Trend war die Suche nach automatischen bzw. teilautomatischen Zerlege- und Bearbeitungssystemen zu identifizieren (s. auch Abbildung 8). Dabei ist der Schritt von Anlagen in Universitätsvorhaben zu prototypischen Realisierungen in Zusammenarbeit mit der Industrie inzwischen vollzogen. Vorreiter sind Deutschland, Österreich und Japan.

Fallbeispiele für die Behandlung von weißer und brauner Ware sowie mobilen Telefonen (Handy) aus Ungarn, Deutschland und Spanien verdeutlichen den prinzipiell möglichen hohen Standard der Bearbeitung. Kritisch betrachtet wurde von allen Beteiligten der nach wie vor notwendige manuelle Aufwand bei der Bearbeitung von Elektronikschrott und den damit verbundenen Kosten.

Desweiteren wurden ökonomische und technologische Aspekte zum ReUse von Geräten und Bauelementen angesprochen. Für die Rückgewinnung von Bauteilen wurde eine prototypische Entlötlage vorgestellt, die zudem über Komponenten zur Qualitätssicherung verfügt. Zudem beschäftigen sich Forschergruppen mit der (Rest-)Lebensdauerabschätzung. Dies geschieht vor dem Hintergrund, die Wartung zu optimieren sowie die Wiederverwendbarkeit von Geräten und Komponenten aus technischer Sicht und bezüglich der Zuverlässigkeit zu verifizieren.

Bei der Behandlung von ausgedienten elektronischen Produkten ist das Recycling der Nichtmetallfraktion heute und vermutlich auch auf absehbare Zeit nicht zufriedenstellend gelöst. Insbesondere die mit Flammhemmern und weiteren Additiven ausgerüsteten, überaus variantenreichen Kunststoffe verursachen bei der Verwertung Kosten, während mit Metallen generell Gewinne realisiert werden können. Eine Abhilfe könnten hier die vorgestellten softwaregestützten Werkzeuge zur Beurteilung eines „Design-for-Recycling(-process)“ schaffen, mit deren Hilfe in der Konstruktionsphase eines Geräts stärker auf die Anforderungen des Recyclingprozesses eingegangen werden könnte. Zur Lösung des Problems der zurzeit bei den Recyclern anfallenden, überaus variantenreichen Kunststofffraktionen wurden Verfahren vorgestellt, die verschiedene Kunststoffe einschließlich der verwendeten Flammschutzmittel innerhalb von Sekunden identifizieren können.

Ein präsentiertes, aber aufgrund des notwendigen Energieaufwandes kritisch diskutiertes Verfahren ermöglicht die Auflösung einer bestückten Leiterplatte in seine Bestandteile. Das Epoxydharz geht zusammen mit dem Lösungsmittel in den flüssigen Aggregatzustand über; die Bauelemente, Kupferlagen und die Glasfasermatten sind anschließend leicht separierbar.



Abbildung 8: Automatische Entstückungsanlage, Fraunhofer IZM, Berlin, September 2000

In Einzelfällen werden bis zu 75 % der Entsorgungskosten durch die Logistik hervorgerufen. Die präsentierten Optimierungspotenziale liegen sowohl in den innerbetrieblichen Strukturen begründet, als auch in der Abstimmung mit z.B. Distributionsabläufen in unternehmensübergreifenden Netzwerken.

#### **Session 4: Green Management**

Von Seiten der Industrie und der Wissenschaft befinden sich parallel mehrere Methodiken zur Umweltbewertung von Produkten in der Entwicklung bzw. werden vereinzelt bereits eingesetzt. Eines der wesentlichen Probleme stellt derzeit die Implementierung des Methodenwissens in die bestehenden oder anzupassenden Geschäftsabläufe eines Unternehmens dar.

Die Abfrage von produktbezogenen Umweltdaten (v.a. Inhaltsstoffe der Zulieferprodukte) bei Zulieferern befindet sich derzeit bei mehreren Unternehmen in der Entwicklungsphase. Beabsichtigt ist eine Berücksichtigung der Umweltdaten bei der Lieferantenauswahl sowie die Unterstützung eigener Produktdeklarationen. Vorrangige Fragestellungen sind der Umfang der für eine Umweltbewertung von Produkten erforderlichen Daten und die Methodik der Datenabfrage bei den Zulieferern (s. Abbildung 9: Ablauf der Datenabfrage bei den Zulieferern (Beispiel Ericsson; Quelle: Mälhammar, G.: A Data Tool for Materials Declaration, Proc. EGG 2000+, S. 518)).

Bislang ist das Erkenntnisinteresse fast ausschließlich auf Produktinhaltsstoffe beschränkt, Prozessdaten werden derzeit im Regelfall nicht nachgefragt. Es zeichnet sich eine zunehmende Nutzung von Internet und Intranet zur Datenbereitstellung sowohl im „Business to Business“-Bereich als auch unternehmensintern ab. In der derzeitigen Diskussion befinden sich die Alternativen eines vertraulichen Datenaustausches entlang der Supply Chain mittels Fragebögen oder einer Veröffentlichung von Zuliefererdaten im Internet. Es besteht noch erheblicher Bedarf zur unternehmensübergreifenden Standardisierung der Datenanforderungen, um die Geschäftsprozesse der Zulieferer zur Bereitstellung der erforderlichen Umweltdaten möglichst effektiv zu gestalten. Dieser Ansatz wird u.a. im skandinavischen GreenPack-Projekt verfolgt (Laufzeit

bis 2002), um den Informationsfluss von Umweltdaten entlang der Supply Chain zu verbessern.

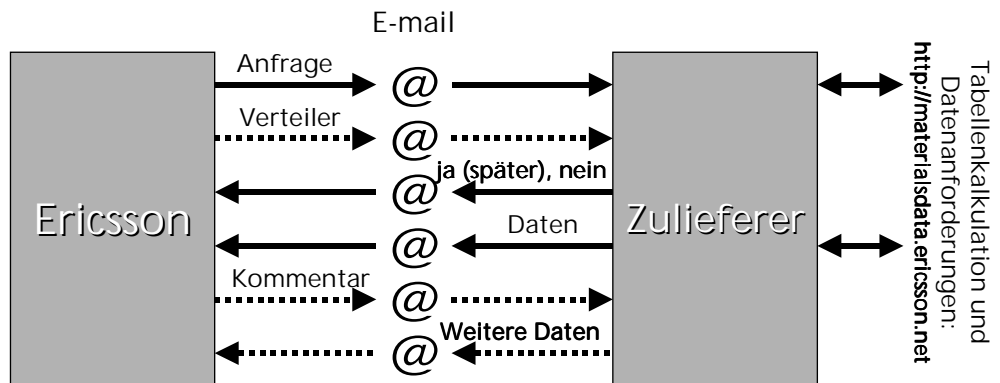


Abbildung 9: Ablauf der Datenabfrage bei den Zulieferern (Beispiel Ericsson; Quelle: Mälhammar, G.: A Data Tool for Materials Declaration, Proc. EGG 2000+, S. 518)

Zur Umweltbewertung von Fertigungsprozessen im jeweils eigenen Unternehmen werden vielfältige Anstrengungen unternommen, jedoch ist diese Umweltbewertung noch nicht sehr weitreichend etabliert. Anwendungsfälle beschränken sich auf einzelne Projekte mit Pilotcharakter. Als problematisch wird die Erhebung der notwendigen Prozessdaten angesehen – hier ist die Zusammenarbeit zwischen unternehmenszentralen Umweltaffeilungen und den jeweiligen Fertigungsbereichen offensichtlich nicht reibungslos. Eine Optimierung dieser innerbetrieblichen Geschäftsprozesse ist daher dringend erforderlich, zumal die Absicht, Umweltbewertungen für die Produkt- und Prozessoptimierung zu nutzen, zwar weit verbreitet ist, aber eine Einbindung von Umweltaspekten in die Prozessplanungsphase noch in den Anfängen steckt.

Generell gilt: Je handhabbarer eine Methodik ist – wenige Parameter, einfache Bewertungsmaßstäbe -, desto integrierter ist die Umweltbewertung bereits in die betrieblichen Entscheidungsprozesse und Abläufe. Die Anwendung von Life Cycle Assessments (LCA) für Produkte und Prozesse beschränkt sich demnach auf sehr wenige Einzelfälle, wird jedoch als zukünftige Entwicklungsrichtung von einigen Unternehmen weiterverfolgt. Von Seiten der Industrie wird derzeit aus praktischen Erwägungen eine möglichst einfache Umweltbewertungsmethodik nachgefragt. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse einer Methodik wird demgegenüber kaum hinterfragt. Ansätze werden verfolgt, die umweltbezogenen Prozessbewertungen mit Kostenaspekten zu verknüpfen.

Im Bereich des produktbezogenen Umweltschutzes ist eine Vielzahl an Eco-Labeln auf nationaler und internationaler Ebene eingeführt. Eine Vereinheitlichung und Reduzierung der Label ist anzustreben, da die Vielzahl der Label für das Marketing umweltfreundlicher Produkte nicht förderlich ist. Aus diesem Grund ist von der ECMA (internationale Standardisierungsorganisation der Industrie) die ECMA TR/70 zur standardisierten Selbst-Deklaration von Produkten eingeführt und überarbeitet worden. Als Schwachpunkt ist die

fehlende Überprüfung der Angaben in der Selbstdeklaration – auch entlang der Supply Chain – anzusehen. Eine weitreichende Vereinheitlichung der Produkt-Öko-Label, insbesondere für den Elektronikbereich, nach einheitlichen, überprüfbareren Kriterien steht folglich noch aus.

Die Anforderungen an das Marketing umweltfreundlicher Produkte wandelt sich: Umweltargumente eignen sich zunehmend weniger als alleinige Verkaufsargumente. Die Bereitschaft der Verbraucher, höhere Preise für umweltfreundliche Produkte zu akzeptieren, wird von Seiten der Hersteller von Consumer Electronics als eher gering eingeschätzt. Zusätzliche Marketingaspekte werden daher als erforderlich angesehen.

### **Session 5: Green Products, Sustainability of Energy Systems**

Schwerpunkte der Session waren einerseits „Green Products“ sowohl aus Sicht der eingesetzten Materialien als auch mit Blick auf die Herstellungsprozesse sowie andererseits Fragen der Energieversorgung, vor allem im Zusammenhang mit dem Betrieb von mobilen Systemen.

Die eng mit der technologischen Prozeßentwicklung verknüpfte Prozessoptimierung unter ökologischen Gesichtspunkten konnte nur an einzelnen Beispielen demonstriert werden. Diesen meist sehr speziellen Problemstellungen wurde nur wenig allgemeines Interesse entgegengebracht. Interessant war die Thematik dann, wenn versucht wurde, sie in einen größeren Zusammenhang zu stellen, wie bei der Betrachtung der Auswirkungen von Laseranwendungen in der Elektronikfertigung auf den Arbeits- und Umweltschutz.

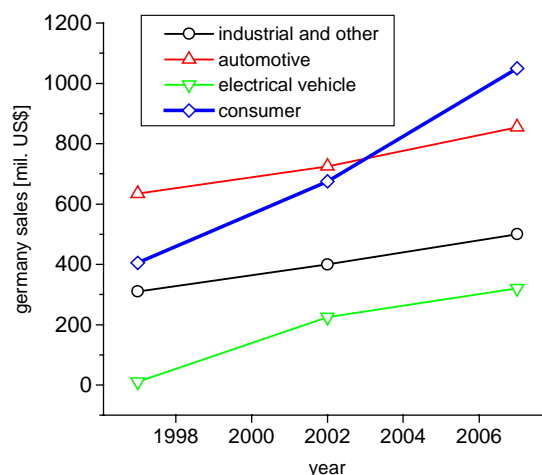


Abbildung 10: Marktentwicklung für Sekundärbatterien in Deutschland

Bei der Substitution von umweltrelevanten Materialien werden verschiedene Ansätze verfolgt. Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Gehäusematerial spielt dabei eine Rolle wie auch Kohlenwasserstoff basierte Alternativen zu

Epoxid- und Isocyanatharzen als Verkapselungsmaterial für Bauelemente und Baugruppen. Die Ablösung der Halogene und des Antimonoxids zur Flammhemmung vor dem Hintergrund der geplanten EU-Richtlinie zur WEEE steht im Vordergrund vieler Arbeiten (s.a. Session 1). Den umfassendsten Ansatz stellen die Arbeiten in der Gruppe um H. Landeck dar, in der grundlegend neue technologische Lösungen für „low cost“-Baugruppen erarbeitet werden. Hier steht im Ergebnis eine deutlich schadstoffreduzierte Baugruppe, die außerdem schnell und leicht zerlegbar ist und gute technologische Eigenschaften mit niedrigen Kosten vereint.

Mit den Arbeiten zur Energieeinsparung und effizienter Energieversorgung, vor allem in miniaturisierten mobilen Anwendungen wurde ein zukünftiger Schwerpunkt in den Bemühungen um eine Reduzierung der Umweltbelastungen aufmerksam gemacht. Die Erarbeitung und Anwendung eines „energy efficiency index“ zum Vergleich des Energiebedarfs im Standby- und On-mode-Betrieb verschiedener Produkte unterstützt sicher den Wettbewerb nach neuen Lösungen auf diesem Gebiet.

Die Entwicklung von Human Powered Energy Systems am TNO in den Niederlanden führt zu interessanten Produktlösungen. Die Forschung auf dem Gebiet von Brennstoffzellen und Solarzellen für mobile Produkte ist im vollen Gange, auch wenn der umfassende Nachweis ihrer guten Umweltverträglichkeit innerhalb der verschiedenen Systemgrenzen noch aussteht. Aber auch bei Batterien und Akkumulatoren zielen die Entwicklungen auf eine Reduzierung der Umweltbelastungen, besonders getrieben durch die zu erwartenden steigenden Marktzahlen (s. Abbildung 10) als auch Produktlösungen mit fester Batterieintegration.

Ziele sind bei den Primärsystemen geringe Selbstentladung und somit lange Lebensdauer, hohe Leistung und geringe Kosten sowie Vermeidung von Schwermetallen, die explizit in der Batterie-Verordnung genannt werden. Bei den Akkumulatoren (Sekundärsysteme) steht die Entwicklung dünner und mechanisch flexibler Systeme im Vordergrund. Hier geht der Trend eindeutig weg von den NiCd-Akkumulatoren, später von den NiMh-Akkumulatoren hin zu Lithium basierten Systemen.

### 5.2.2 Deutschland: Auswertung der Projektaktivitäten seit 1995

Die Zusammenstellung von abgeschlossenen und gegenwärtig laufenden Forschungsvorhaben mit deutscher Beteiligung im Bereich „Integrierter Umweltschutz in der Elektro- und Elektronikindustrie“ zeigt einen deutlichen Schwerpunkt der Aktivitäten im Bereich der Endphase eines Produktes, d.h. hinsichtlich Separation und Demontage, werkstofflichem Recycling und übergreifendem End-of-Life-Management. Forschungsprojekte in diesem Bereich machen näherungsweise über ein Drittel aller Aktivitäten aus.

#### *Separation und Demontage*

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

Mehrere groß angelegte Verbundprojekte zur Separation und Demontage von Elektronikschrott liefen Mitte der 1990er Jahre auf europäischer Ebene und in Deutschland an. Zu nennen sind hier nachfolgende mit deutscher Beteiligung gelaufenen EU-Projekte

*(Ausführliche Angaben und eine Projektbeschreibung finden sich im Anhang. Es existieren je eine Liste für Deutschland [DE], Europa [EU], USA [US] und Japan [JP]. Ein Verweis auf die [Liste/ Nummer] wird dem Projekttitel jeweils nachgestellt.)*

- ADAS – autonomous disassembly by advanced shape recognition (ESPRIT III, 1994-96) [DE/ 24]
- Disassembly Cell - flexible robot-based system for disassembly of obsolete electric and electronic appliances (INNOVATION, 1997-99) [DE/ 25]
- DISCO – disassembly and recycling of pure materials from consumer goods (INNOVATION, 1997-00) [DE/ 26]
- COMBIDENT – high quality plastic materials from electronic waste by use of combined identification method and new handling technologies (BRITE/EURAM III, 1998-01) [DE/ 22]

sowie eine große Anzahl in Deutschland geförderter Projekte:

- AUTDEM – Automatische Entstückungsanlage für elektronische Bauelemente (Senat Berlin, 1998-00) [DE/ 116]
- AUTENT – Automatisierte Entstückungssysteme für Elektronikschrott (BMW/ AIF, 1998-00) [DE/ 117]
- FAUDEG – Flexibel automatisierte Demontage von Bildschirmgeräten (Land NRW, 1997-99) [DE/ 118]
- IREAK – Industrieller Rückbau von Elektronik-Altgeräten in Kreisläufen (BMBF, 1996-99) [DE/ 49]
- CLEANTECH – Concept for Logistical and Environmental Disassembly Technologies (BMBF, EUREKA, 1994-97) [DE/ 5]
- Entwicklung einer flexibel automatisierten Demontagezelle auf der Basis mehrachsiger Handhabungssysteme (BayFORREST, 1994-99) [DE/ 39]
- Online-Charakterisierung von Rezyklaten aus Kunststoffabfällen der Elektronikindustrie mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (BayFORREST, 1998-00) [DE/ 42]
- MIRIS – Lasergestützte Identifikation von Kunststoffen (BMBF, 1994-97) [DE/ 128]
- SFB 281 – Demontagefabrik zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen (DFG, seit 1995) [DE/ 33]
- Untersuchungen zur automatischen Demontage von elektronischen Altgeräten und Bestimmung der Recyclingmöglichkeiten (DBU, 1993-97) [DE/ 121]
- Umweltgerechte Konstruktion und Demontage technischer Produkte (Land Baden Württemberg, 1995-98) [DE/ 119]

## Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

Eine Vielzahl dieser Projekte konzentrierte sich auf die Entwicklung automatisierter Erkennungs- und Demontagesysteme. Diese intensive Forschung hat zu einer Fülle von prototypischen Anlagen geführt. Parallel zu dieser Entwicklung wurde neuen Verfahren zur mechanischen und chemischen Aufbereitung von Materialien Aufmerksamkeit geschenkt. Im Ergebnis dieser Vorhaben zeigte sich, dass die technische Bewältigung der gestellten Aufgaben durchaus entsprochen werden kann, eine ökonomisch sinnvolle Nutzung dieser Technologien in der industriellen Praxis der Entsorgung von Elektronikschrott aber an den äußerst heterogenen und unzureichenden Stoffströmen, aber auch der Vielzahl der Produkte scheitert. In der Folge richteten sich die Forschungsaktivitäten vermehrt auf die Entwicklung von Konzepten für demontagegerechte Geräte. In diesem Zusammenhang werden z. Zt. diverse physikalische und chemische Wirkprinzipien (Klemmverschlüsse, neue Adhäsionsverfahren) für schnell lösbare Verbindungen untersucht. Ein Beispiel sind *smart materials* (Shape Memory Alloy, SMA und Shape Memory Polymer, SMP), die unter Temperatureinwirkung eine Selbstdemontage herbeiführen. Projekte in diesem Zusammenhang sind:

- ADMS – active disassembly using smart materials (GROWTH, 2000-03) [DE/ 28]
- ASTRAL – development of adaptive solder technology for reliability and environment compatibility of electronic assemblies (BRITE/ EURAM III, 1998-01) [DE/ 14]
- Simultan lösbare Verbindungen in der Feinwerktechnik (Heinrich Böll Stiftung, 1995-98) [DE/ 124]
- Produktrecycling elektronischer und feinwerktechnischer Geräte (Land Sachsen, 1995-98) [DE/ 113]
- Entwicklung von Demontagetechologien und Methoden (BMBF, 1995-96) [DE/ 123]
- ProMeKreis – Methoden zur Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Einfach- und Komplexgeräten (BMBF, 1996-99) [DE/ 53]

### *Recyclingprozesse*

Ein großer Komplex der aktuellen Forschung befasst sich mit der Optimierung von Stoffkreisläufen in den Fertigungsprozessen. Betriebsmittel (häufig kritische Chemikalien) sollen in geschlossenen Kreisläufen verbleiben bzw. regeneriert werden und damit das Abfall- und Emissionsaufkommen senken.

Die öffentliche und private Forschung hinsichtlich einer Verbesserung von Recyclingprozessen war in den vergangenen Jahren sehr vielfältig. Im methodischen Ansatz zur Lösung dieser Problematik lassen sich dabei vielstoff- und materialspezifische Verfahren grundsätzlich unterscheiden. Nachdem anfangs Vielstoffverfahren im Vordergrund standen, haben in den vergangenen Jahren die Forschungsaktivitäten zur Optimierung von materialspezifischen Recyclingprozessen zugenommen und zu produkt- bzw. werkstoffspezifischen Einzellösungen geführt. Dieser Trend folgt dem ökonomischen Interesse nach einem qualitativ hochwertigen Recycling (größere Wertschöpfung) einzelner

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

Stofffraktionen mit einem hohen Volumenaufkommen. Neben der Optimierung von bestehenden Technologien zur Metallrückgewinnung, die in folgenden Projekten untersucht wurden;

- Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozesslösungen (BMBF, 1997-00) [DE/ 131]
- Aufbereitung und Verwertung von Elektronikschrott durch überkritische Nassoxydation (BMBF, 1996-99) [DE/ 52]
- Direkte Umschmelzarbeit von Elektronikschrott (BMU/ UBA, 1994-97) [DE/ 132]
- Reduzierung der Abwasser- und Schlammemission (Straschu GmbH, 1997) [DE/ 133]
- Schwermetallabscheidung aus dem Abgas durch Kondensation (DFG, 1996-00) [DE/ 134]
- GOLDELSE – Umweltverträgliches Goldrecycling in der Elektronikindustrie (Senat Berlin, 1999-01) [DE/ 136]
- Regeneration von Ätzlösungen (DBU, 1996-99) [DE/ 137]
- Rückstandsfreies Kabelrecycling (BMW/ AIF, 1999-01) [DE/ 143]

wird dem Recycling von Kunststoffen vermehrt Beachtung geschenkt. Das Problem des Kunststoffrecyclings ist in der Vielfalt der in der Elektrotechnik und Elektronik zum Einsatz kommenden Kunststoffe als auch der Verwendung von halogenierten Flammschutzmitteln begründet. Die Forschung konzentriert sich auf Verfahren zur Erkennung und Separation einzelner Kunststoffsorten sowie technische Lösungen zur Schadstoffentfrachtung. Projekte zu diesem Thema sind:

- Recycling of mass consumer products (PECO, 1994-96) [DE/ 15]
- TRICARE – Tribo-electric cable elastics recycling (BRITE/ EURAM III, 1998-01) [DE/ 23]
- Recycling von Kunststoffe in der Elektronikindustrie (BayFORREST F-67, 1994-96) [DE/ 38]
- Bewertung/ Optimierung von Verfahren zum Recycling flammgeschützter Kunststoffe aus Elektronikschrott (BayFORREST F-116, 1997-99) [DE/ 40]
- Verfahren zur kontinuierlichen Charakterisierung von Rezyklaten bei der Aufbereitung von Kunststoffen aus Elektronikschrott (BayFORREST F-129, 1998-00) [DE/ 41]
- Online-Charakterisierung von Rezyklaten aus Kunststoffabfällen der Elektronikindustrie (BayFORREST F-134, 1998-00) [DE/ 42]
- Minimierung von Schadstoffen bei der Entsorgung und Verwertung von Werkstoffen der Elektronik (BayFORREST F-137, 1998-00) [DE/ 43]
- Verfahrensentwicklung zum Recycling von Weich-PVC (BayFORREST 161, 1998-01) [DE/ 44]
- Verwertung von Kunststoffmischungen aus elektronischen Altgeräten (DBU, 1994-99) [DE/ 141]



- Chemische Auftrennung von Kunststoffmischungen aus Thermoplasten, Elastomeren und Duroplasten durch fraktionierte Pyrolyse (BMW/ AIF, 1997-98) [DE/ 142]

### *Recyclingkonzepte / Logistik*

Ein signifikantes Hemmnis für das effiziente Recycling von Elektronikschrott ist das Fehlen geordneter und großvolumiger Stoffströme. Die Großzahl der oben genannten Forschungsprojekte eruierten organisatorische Mängel und eine unbefriedigende Kosteneffizienz der Recyclingkette, bestehend aus Rückführlogistik, Separation/ Demontage und Recycling, als Hauptgrund für das Scheitern wirtschaftlich sinnvoller Wiederverwertungskonzepte. Der wachsende gesetzgeberische Druck hinsichtlich einer umweltgerechten Entsorgung bzw. Aufarbeitung von Elektronikschrott hat dem Thema der operativen Umsetzung von entsprechenden Recyclingkonzepten höhere Bedeutung verschafft. Auf europäischer und nationaler Ebene sind mit den Projekten

- RELOOP – reverse logistics chain optimization in a multi-user trading environment (ESPRIT IV, 1998-00) [DE/ 20]
- PRONET – product information system for business networks (TELEMATICS, 1996-97) [DE/ 32]
- MIRO – Managementstrategien für die Implementierung von Wiederverwendung und Recycling in industriellen Organisationen (BMBF, EUREKA, 1997-99) [DE/ 48]
- Entwicklung eines Rücknahme-, Entsorgungs- und Vermeidungskonzeptes von Computerschrott (BMW/ AIF, 1995-96) [DE/ 115]
- Entwicklung eines Simulationstools für den Bereich Entsorgungslogistik für Elektronikschrott (BMW/ AIF, 1997-99) [DE/ 108]
- IDEE – Informationssystem zur Dienstleistung Entsorgung von Elektronikaltgeräten (FhG IZM, 1995-97) [DE/ 90]

Ansätze verfolgt worden, das Informationsmanagement zwischen allen beteiligten Akteuren sowie die operative Abwicklung der Rückhol- und Recyclingaktivitäten zu verbessern. Mit dem europäischen Projekt ECOLIFE [DE/ 10] wurde der Versuch gestartet, ein Netzwerk zum Austausch von Forschungsergebnissen und Erfahrungen zum Thema DfE und Recycling komplexer Güter zu schaffen.

Recyclingkonzepte werden nur dann erfolgreich sein, wenn bereits in der frühen Entwicklungsphase eines Produktes eine integrierte Kosten- und Umweltabschätzung eines späteren Recycling erfolgt und die Produkte entsprechend recyclinggerecht entworfen sind. In diesem Zusammenhang wird der Entwicklung von Bewertungsmodellen und -werkzeugen für ReUse und Recycling vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt, wie folgende Projekte zeigen:

Teil B: Status Quo und Anforderungen

---

- DEMROP – design and evaluation method for the recyclability of products (BRITE/ EURAM II, 1993-96) [DE/ 16]
- ELEKTRA – Umweltgerechte Produktentwicklung und -verfahren für KMU am Beispiel der Elektroindustrie (BMBF, 1997-00) [DE/ 47]
- Ökobilanzierung in der Elektronikindustrie (BMBF, 1995-99) [DE/ 46]
- PROSA – Kreislaufgerechte Produktgestaltung durch Produkt-Struktur-Analyse (BenefIT) [DE/ 89]
- CUMPAN – Computergestützte umweltorientierte Produktanalyse (Daimler Chrysler AG, 1992-97) [DE/ 78]

Das Kostenmanagement bezogen auf die gesamte Lebensphase gewinnt im Rahmen der Produktentwicklung zunehmend an Bedeutung. Die Forschung ist bemüht, mit benutzerfreundlichen Tools den Konstrukteuren entsprechende Hilfsmittel zur Kostenabschätzung an die Hand zu geben:

- TOPROCO – total product life-cycle-cost estimation (BRITE/ EURAM II, 1994-98) [DE/ 17]
- ElectSME – elimination of end-of-life cost through a standardized simultaneous design methodology for SME supply chains (BRITE/ EURAM III, 1998-01) [DE/ 18]
- grEEEn – cost management system for greening electrical and electronic equipment (GROWTH, 2001-03) [DE/ 19]

#### *Umweltmanagement*

Neben der großen Anzahl an Forschungsvorhaben zum Recycling haben bis Ende der 1990er Jahre allgemeine Studien zum Umweltmanagement, zur Ökobilanzierung und -bewertung breite Aufmerksamkeit auch in der Elektronikbranche gefunden. Schwerpunkte bildeten produktbegleitende Informationssysteme und stoffstrombasierte Planungssysteme. Hier ist für die Zukunft eine stärkere Vereinheitlichung und Umsetzung der gewonnenen Forschungsergebnisse wünschenswert. Die Vielzahl der entwickelten Bewertungstools müssen stärker den Bedürfnissen der Anwender angepasst und noch weiter vereinfacht werden. Eine Vereinheitlichung von Ökobilanzierungsmodellen und -tools hinsichtlich produktgruppenspezifischer Anforderungen steht noch aus.

#### *Produkte und Prozesse*

Den umweltpolitischen Erfordernissen entsprechend, d.h. der Substitution gefährlicher Stoffe, Reduzierung des Energie- und Rohstoffverbrauchs und Optimierung der Recyclingeignung, sind zur Verbesserung von Produkten und Prozessen umfangreiche FuE-Vorhaben gelaufen. Einen Schwerpunkt bildete die Entwicklung und Erprobung neuer schadstoffarmer Werkstoffe und Bauteile. Bleifreie Lote im Zusammenhang mit neuen Verbindungsverfahren (Leitkleben u.a.) in der Mikrosystemtechnik waren und sind ein großes Thema. Eine Vielzahl von Projekten - nicht nur in Deutschland - haben gezeigt, dass die Substitution von Blei in elektronischen Anwendungen technisch möglich und

Teil B: Status Quo und Anforderungen

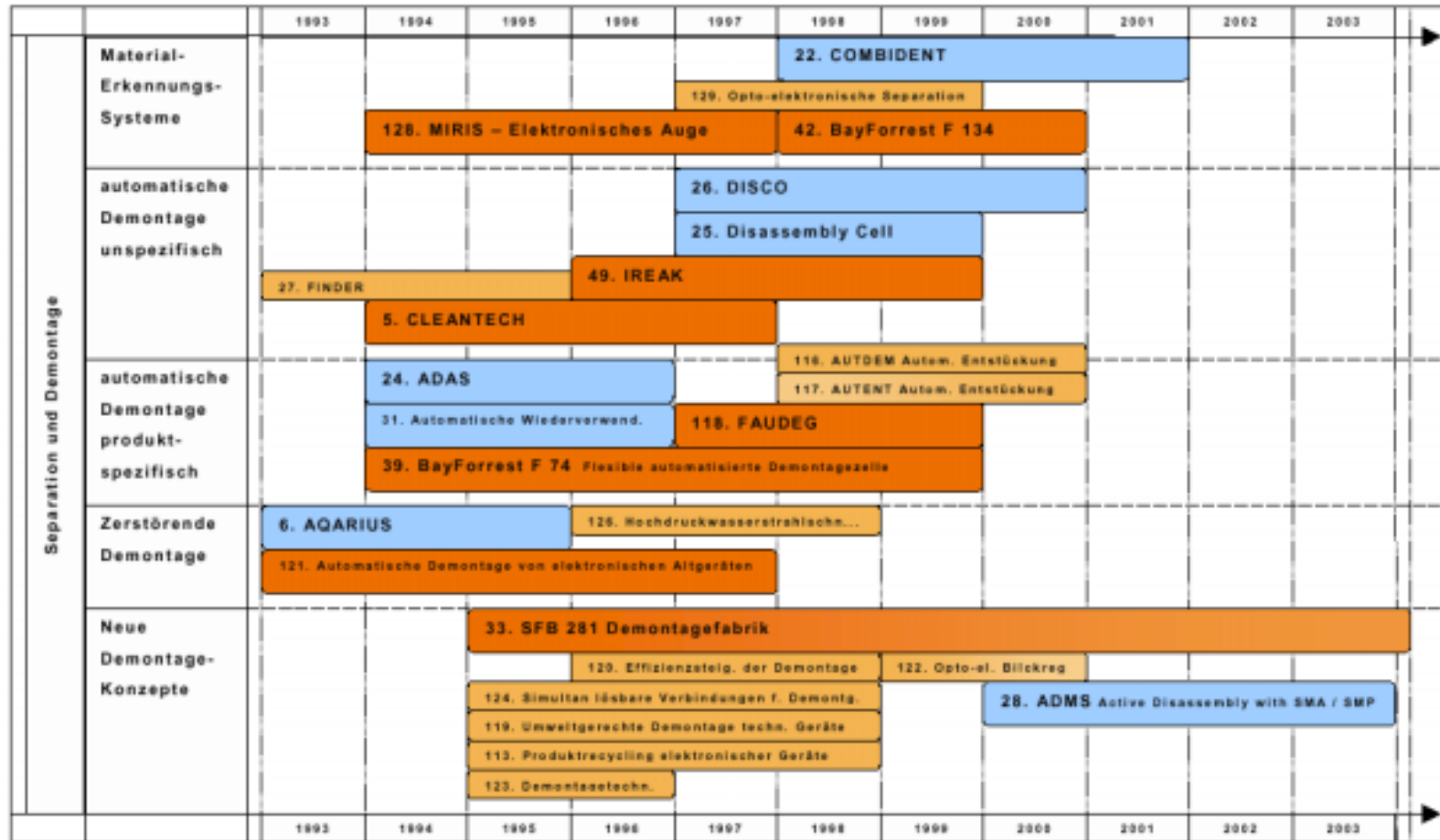
---

ökonomisch verträglich ist. Im Zuge dieser Entwicklung sind veränderte Anforderungen an Bauteil- bzw. Komponentenhersteller zu verzeichnen, die neuen Forschungsbedarf mit sich bringen. Im Bereich der Mikroelektronik konzentriert sich die Forschung auf die Entwicklung dünnerer und flexibler Materialien/ Legierungen sowie integrativen und modularen Lösungen zur weiteren Miniaturisierung von Baugruppen. Ein Beispiel ist die von der Firma Würth Elektronik GmbH in Zusammenarbeit mit der TU Dresden entwickelte Folienleiterplatte TwinFlex. Hinsichtlich einer umweltgerechteren Prozesstechnik wurden optimierte oder völlig neue Fertigungsverfahren entwickelt und erprobt. Ein Schwerpunkt lag hierbei in der Vermeidung nass-chemischer (also ätzfreier) Strukturierungsverfahren bei der Leiterplattenfertigung.

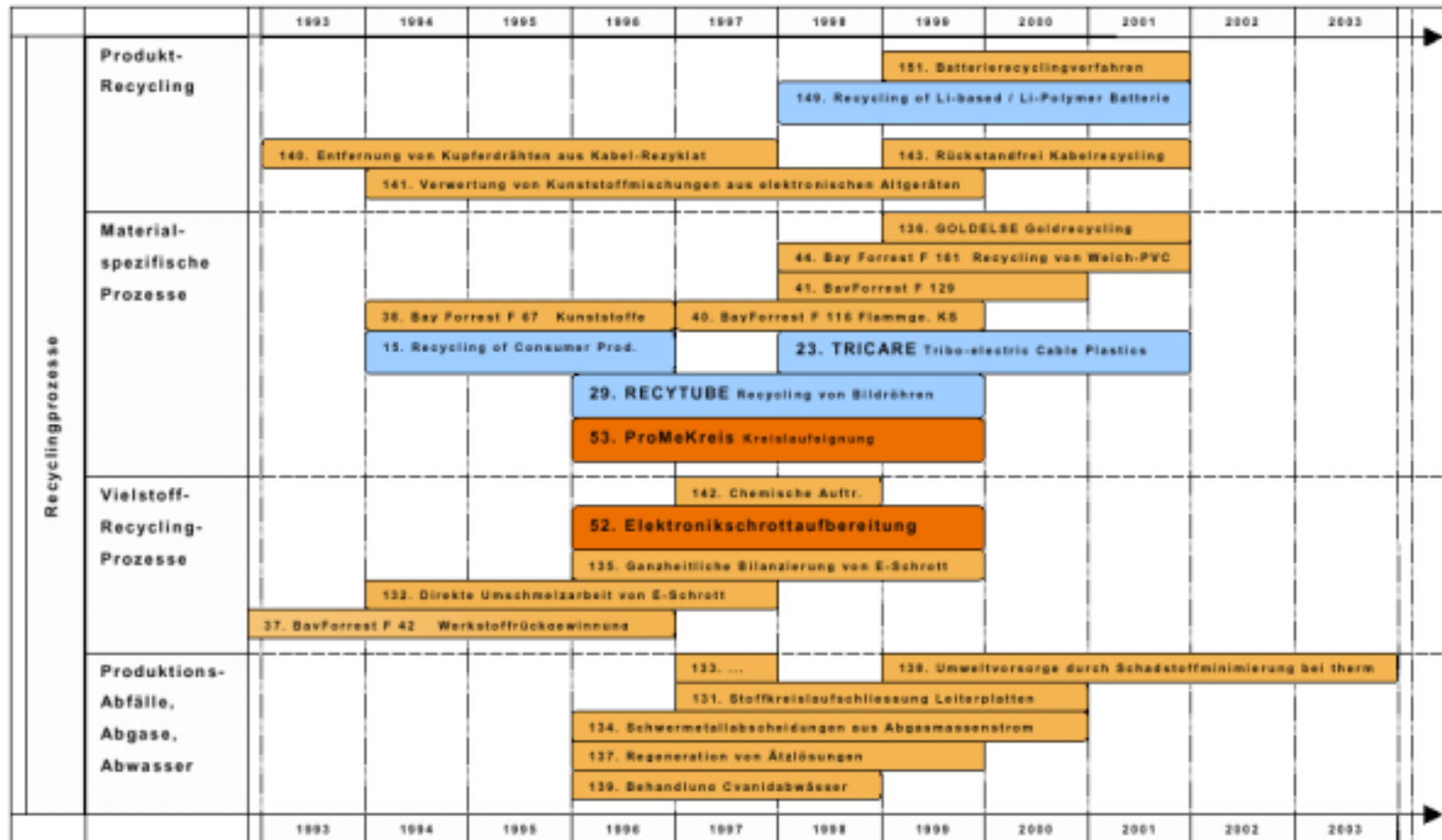
Neben der Mikroelektronik gab es auch in anderen Produktgruppen der Elektrotechnik/ Elektronik Forschungsvorhaben zum integrierten Umweltschutz. Das vom bmb+f geförderte Verbundprojekt „Grüner Fernseher“ [DE/ 50] ist ein Beispiel, in dem neue Technologien zur Realisierung eines konkurrenzfähigen umweltverträglichen Elektronikgerätes umfassend erarbeitet wurden. In anderen Produktgruppen wurden Anstrengungen zur Verbesserung des Wirkungsgrades beispielsweise von Elektropumpen unternommen. Im Verbundprojekt ELEKTRA [DE/ 47] wurde in mehreren Fallbeispielen der Versuch gemacht, Produktverbesserungen hinsichtlich einer stofflichen und energetischen Ressourcenschonung zu vollziehen. Zusammenfassend lässt sich allerdings feststellen, dass die Forschung bezogen auf konkrete Produkt- und Prozessverbesserungen nur wenige Ergebnisse mit unmittelbarer Umsetzung in die industrielle Praxis brachte.

Die folgende graphische Zusammenstellung der deutschen und europäischen Forschungsprojekte mit deutscher Beteiligung soll einen Überblick zur thematischen und zeitlichen Einordnung der Forschung zum integrierten Umweltschutz liefern. Eine detaillierte Auflistung der Vorhaben findet sich im Anhang.

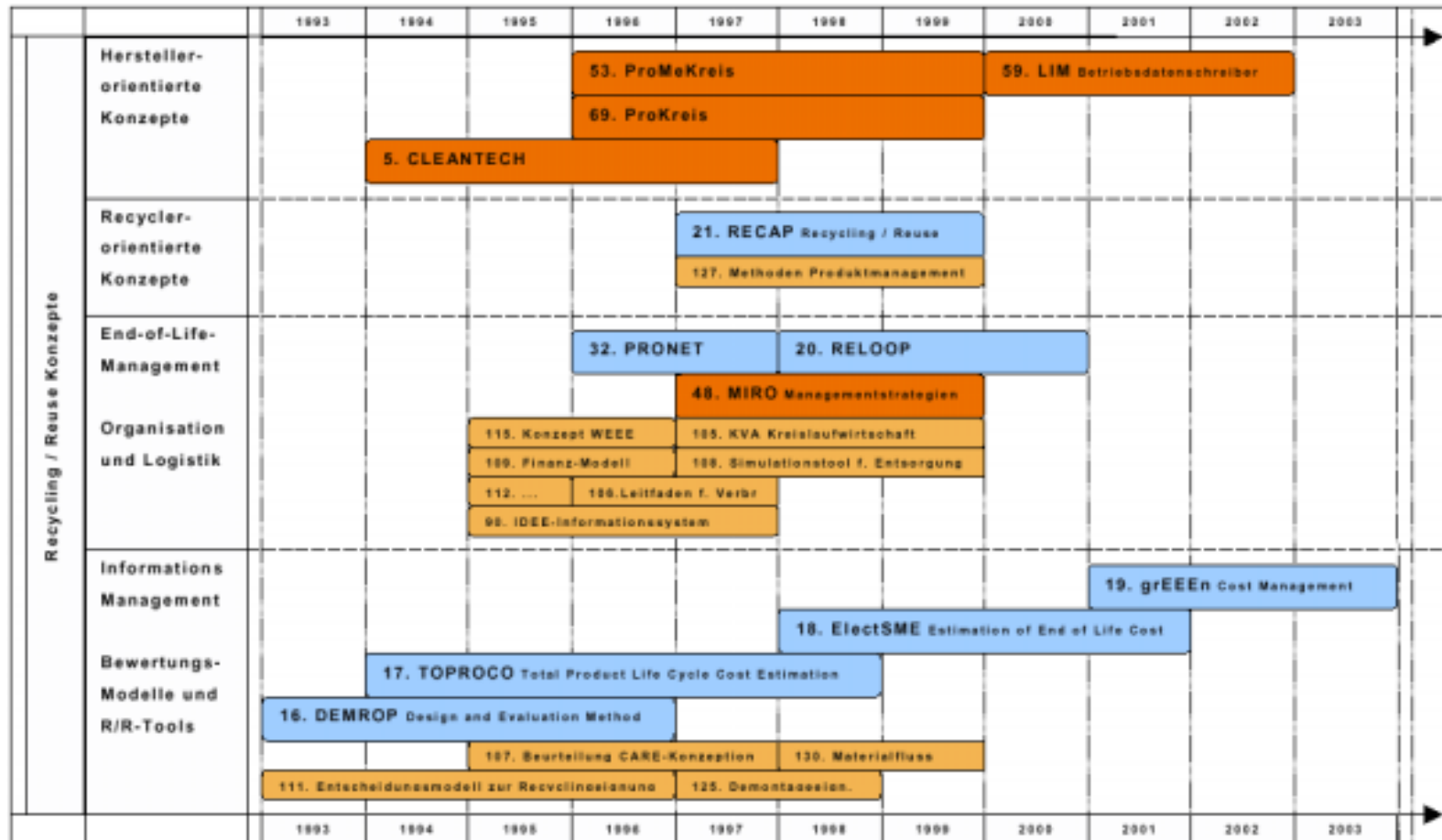
*Übersicht Forschungsprojekte "Separation und Demontage"*



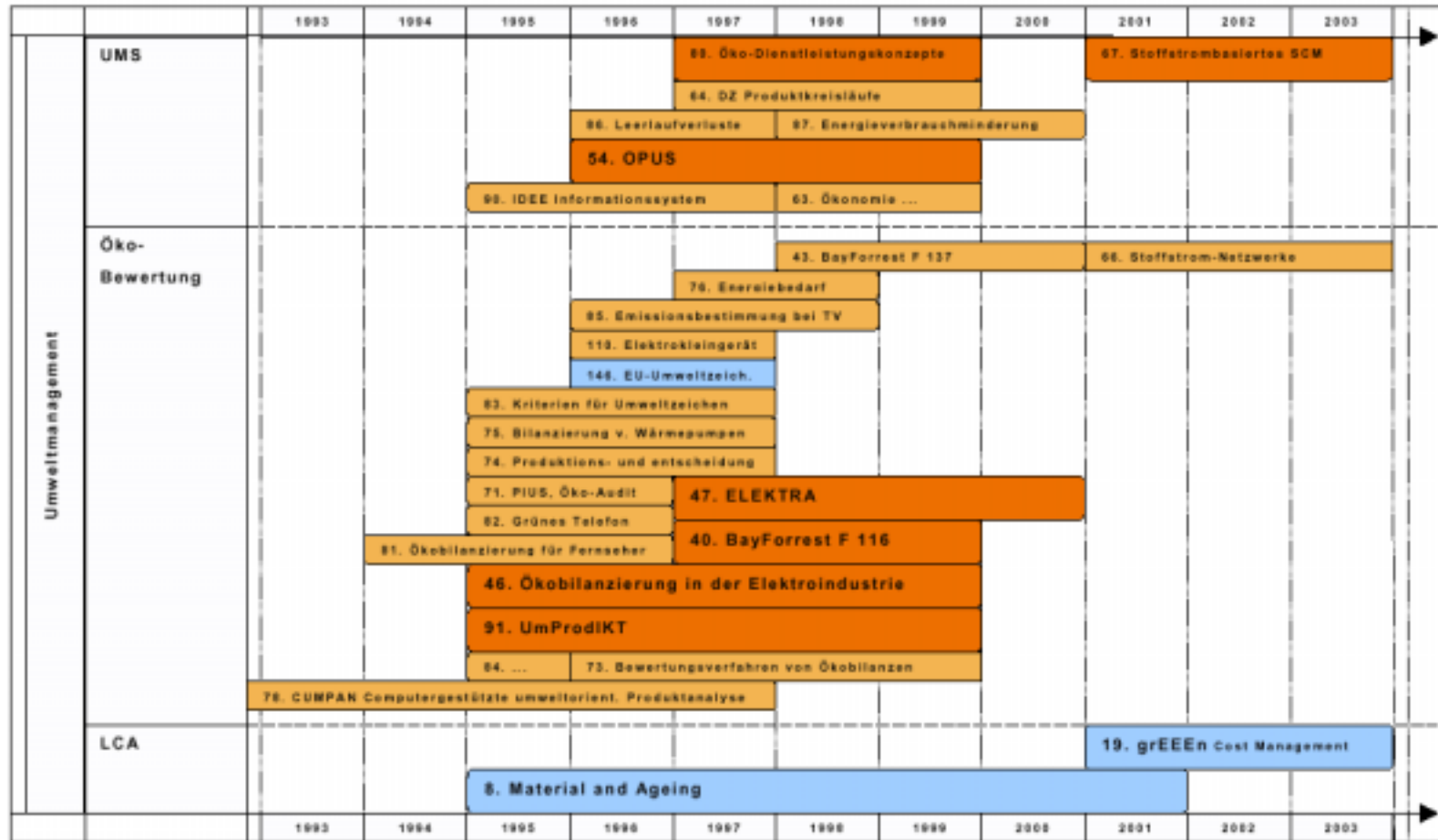
*Übersicht Forschungsprojekte "Recyclingprozesse"*



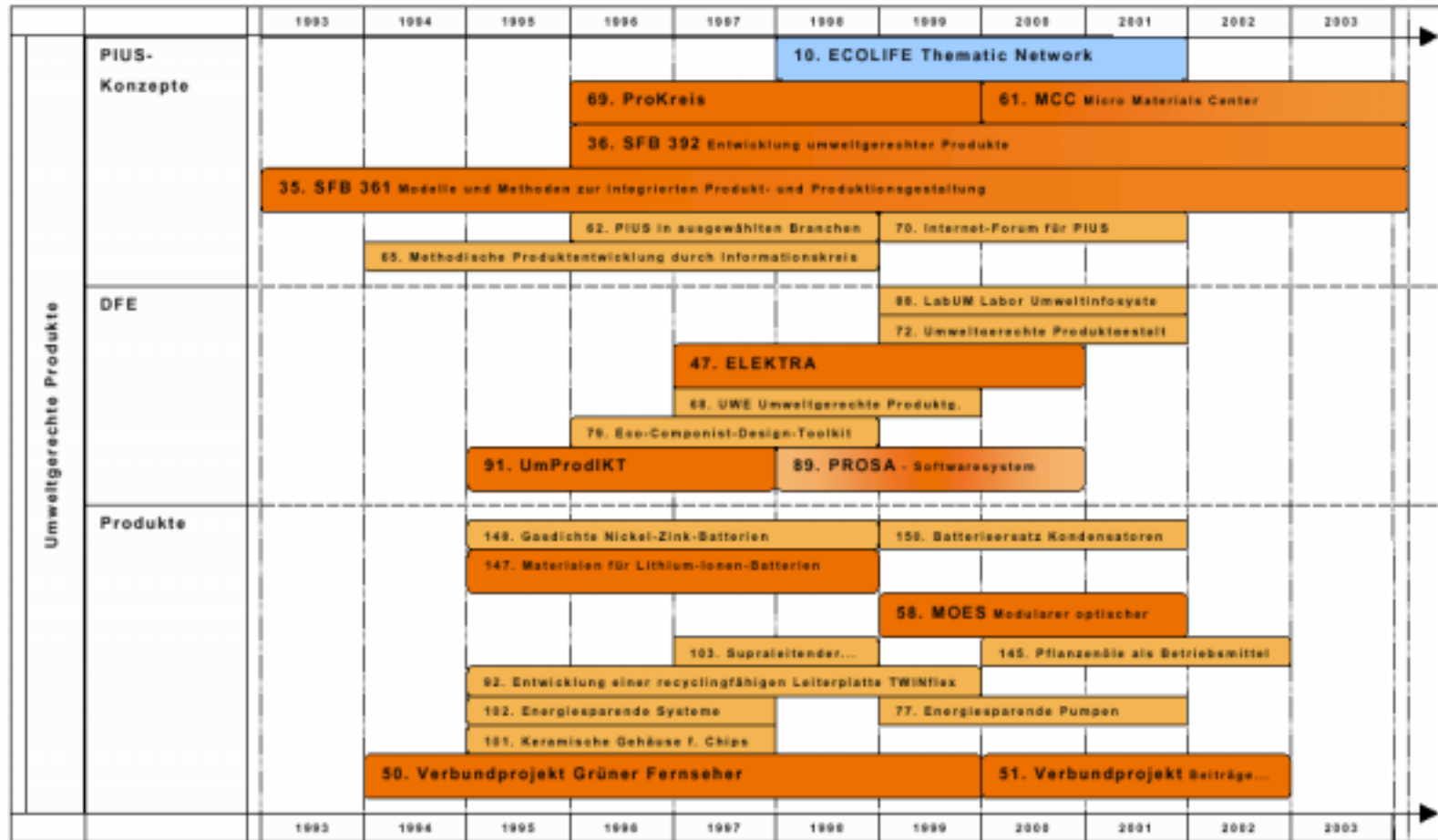
*Übersicht Forschungsprojekte "Recycling/ ReUse- Konzepte"*



*Übersicht Forschungsprojekte "Umweltmanagement"*

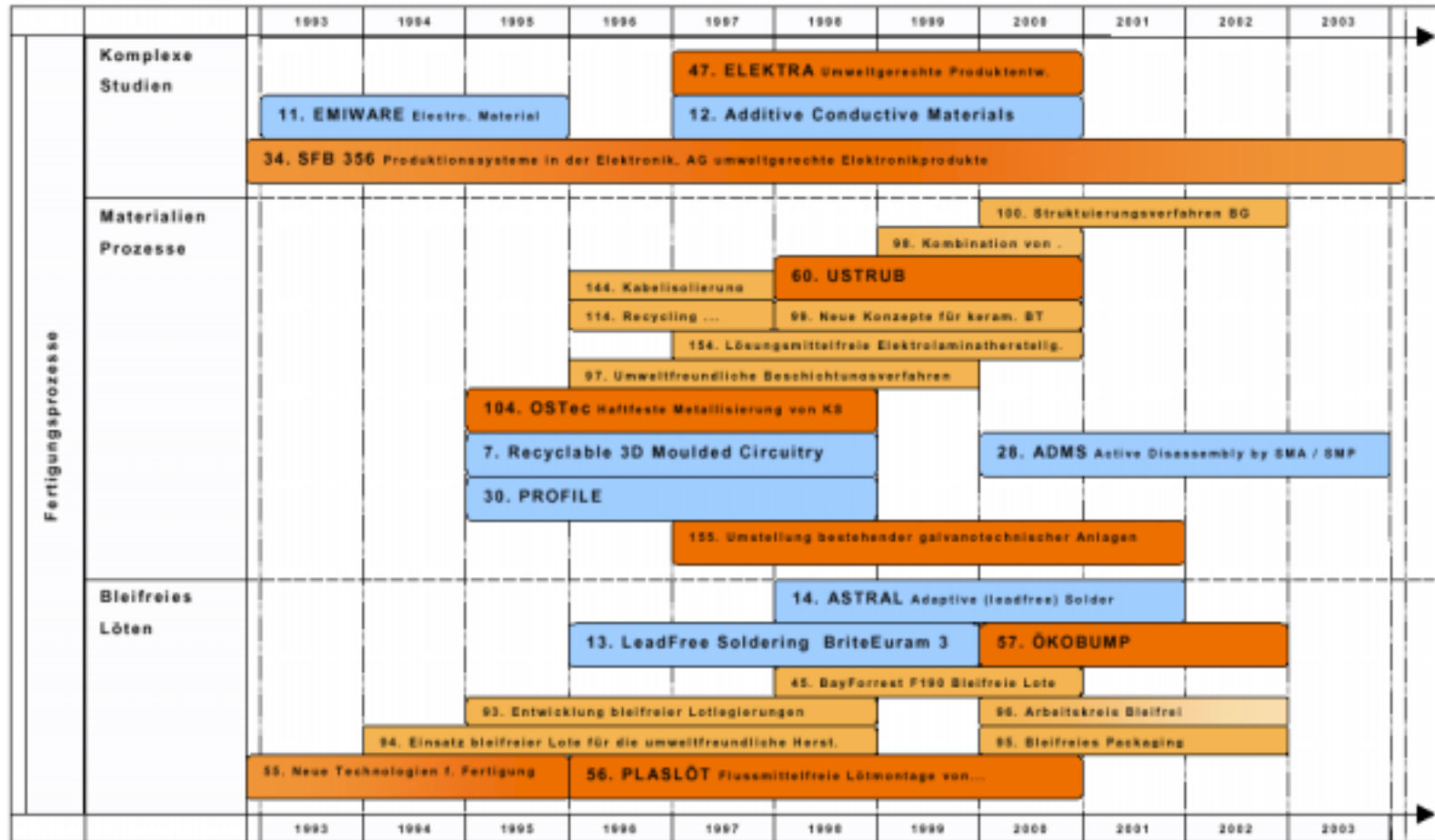


*Übersicht Forschungsprojekte "Produkte"*





*Übersicht Forschungsprojekte "Prozesse"*



### 5.2.3 Europäische Union: Auswertung der Forschungsaktivitäten seit 1995<sup>44</sup>

#### *Forschungsaktivitäten der Europäischen Union*

Die europäischen Forschungsaktivitäten hinsichtlich eines integrierten Umweltschutzes in der Elektrotechnik/ Elektronik werden innerhalb des 5. Europäischen Forschungsrahmenprogramms maßgeblich durch folgende drei thematische Programme mitgetragen:

- Benutzerfreundliche Informationsgesellschaft (IST)
- Wettbewerbsorientiertes und nachhaltiges Wachstum (GROWTH)
- Umwelt, Energie und nachhaltige Entwicklung (EESD)

Der Fokus der Forschung lag in den letzten zehn Jahren im Bereich der Entsorgung und des Recyclings als Folge wachsender politischer Bemühungen zur Regulierung des Umgangs mit Elektronikschrott. Die Elektronikindustrie mit ihren komplexen Produkten und Herstellungsverfahren galt als Beispiel für einen stetig wachsenden Sektor, der zur Umweltbelastung durch eine zunehmende Generierung von Sondermüll beiträgt. Diese Tatsache veranlasste alle führenden Unternehmen, über die Recyclingeignung ihrer Produkte nachzudenken und führte zu entsprechenden Forschungsaktivitäten. In der Folge wurde im Rahmen größerer EU-Verbundvorhaben einzelne Themen im Zusammenhang mit dem Recycling von Elektronikschrott untersucht. Forschungsschwerpunkte bildeten dabei:

- die Materialerkennung und Demontage von Geräten/ Baugruppen,
- das produktspezifische und materialspezifische Recycling/ ReUse,
- Energieeffizienz und Ressourcenschutz,
- Vermeidung und Reduktion des Einsatzes gefährlicher Substanzen,
- die Entwicklung von Bewertungsmodellen und -werkzeugen (-tools),
- das End-of-Life Management und Logistik.

Die Forschungsprojekte zu verschiedenen Arten der Materialerkennung und Demontage konzentrierten sich auf (teil-)automatisierte Demontagezellen. Folgende Projekte liefen in diesem Zusammenhang:

- Automatisierte Wiederverwendung elektronischer Komponenten von Leiterplatten und Entfernung toxischer Bauelemente (CRAFT, 1994-96) [DE/ 31]
- ADAS – Autonomous Disassembly by Advanced Shape Recognition (ESPRIT III, 1994-96) [DE/ 24]
- Disassembly Cell - Flexible Robot-Based System for Disassembly of Obsolete Electric and Electronic Appliances (INNOVATION, 1997-99) [DE/ 25]
- DISCO – Disassembly and Recycling of pure Materials from Consumer Goods (INNOVATION, 1997-00) [DE/ 26]

---

<sup>44</sup> Bei der Erhebung der internationalen Entwicklungen wurde auf einen Unterauftrag an Dr. Arnold Tukker, TNO Institute of Strategy, Technology and Policy, Autor der Studie Ecodesign – European State of the Art. IPTS, 2000 zurückgegriffen.

- COMBIDENT – High quality plastic materials from electronic waste by use of combined identification method and new handling technologies (BRITE/EURAM III, 1998-01) [DE/ 22]

Hinsichtlich produkt- und materialspezifischer Recyclingverfahren bildete das Recycling von Kathodenstrahlbildröhren, Kabeln und Kunststoffen einen Schwerpunkt. Der noch immer hohe Anteil an toxischen Stoffen in Produkten der Elektronikindustrie macht das Recycling von flammgehemmten Kunststoffen und schwermetallhaltigen Baugruppen zu einem großen Problem. Die Schadstoffentfrachtung im Zuge der Aufbereitung wurde daher zu einem wichtigen Thema der Forschung. EU-Verbundprojekte waren in diesem Zusammenhang:

- AQUARIUS- Water Jet Cutting of Cathode Ray Tubes for Clean Recycling (EUREKA, 1993-95) [DE/ 6]
- RECYTUBE – Integrated Recycling of End-of-Life Cathode Ray Tube Glass (BRITE/EURAM III, 1996-99) [DE/ 29]
- Recycling of Mass Consumer Products (PECO, 1994-96) [DE/ 15]
- TRICARE – Tribo-electric Cable Plastics Recycling (BRITE/EURAM III, 1998-01) [DE/ 23]
- ELREC – Electrostatic Recovery of Paper and Plastic Packaging Waste (BRITE/EURAM III, 1997-00) [EU/ 16]
- SUREPLAST – Multipurpose industrial units for recycling of plastics waste by on-line pattern recognition of polymer features (BRITE/EURAM III, 1998-01) [EU/ 18]
- Thermolitic recovery of Copper and precious metals from electronic circuit boards (BRITE/EURAM III, 1998-01) [EU/ 21]
- SCOW – Supercritical fluids to extract and/ or degrade organic waste materials, especially flame retardants (BRITE/EURAM III, 1998-01) [EU/ 22]
- ADMS – Active Disassembly using smart materials (GROWTH, 2000-03) [DE/ 28]

Um die Schadstoffentfrachtung am Produktlebensende zu erleichtern, wurden ebenfalls Aspekte einer schadstoffarmen Produktgestaltung erforscht. Der Substitution von Blei und anderen Schwermetallen in Produkten und Fertigungsverfahren wurde hierbei seit Mitte der 1990er Jahre besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Derzeit ist die Vermeidung von halogenierten Flammenschutzmitteln in Kunststoffgehäusen und Baugruppen ein wichtiges Thema. Aber auch der Reduzierung und einer geschlossenen Kreislaufführung von kritischen Hilfsstoffen (Ätzlösungen u.a.) in den Fertigungsprozessen wird zunehmend Beachtung geschenkt. Die Forschungsaktivitäten im Bereich der Produktentwicklung konzentrieren sich aber weiterhin auf die inkrementelle Verbesserung herkömmlicher Produkte/ Verfahren. Ansätze, die eine umweltrelevante Verbesserung um den Faktor 4 bis 10 beinhalten, sind hingegen erst im Anfangsstadium begriffen. Als Projekte sind zu nennen:

- Improved design life and environmentally aware manufacture of electronics assemblies by Lead-Free-Soldering (BRITE/EURAM III, 1996-99) [DE/ 13]
- ASTRAL – Development of adaptive solder technology for reliability and environment compatibility of electronic assemblies (BRITE/EURAM III, 1998-01) [DE/ 14]
- Use of additive conductive materials to reduce cost and environmental impact of PCB manufacture (BRITE/EURAM III, 1997-00) [DE/ 12]
- PROFILE – Production of Fibreboard through high-speed refining, double-wire pressing and high-level intelligent control [DE/ 30]
- EMIWARE – Electronic materials initiative for waste reduction (ESPRIT III, 1993-95) [DE/ 11]
- ECO2CLEAN – Electronics cleaned (GROWTH, 2000-03) [EU/ 23]

Parallel zu diesen produkt- bzw. prozessnahen Aktivitäten wurde man sich relativ früh darüber klar, dass nur ein umfassender, integrierter Umweltschutzansatz, der die gesamte Produktlebensphase einschließt und alle Aspekte der Umweltbelastung durch ein Produkt aufzeigt, geeignet ist, Elektro- und Elektronikzeugnisse nachhaltig umweltgerechter zu gestalten. Zur Unterstützung einer umweltfreundlichen Produktgestaltung (DfE) war es nötig, eine geeignete Methodik und praktikable LCA/LCC-tools zu entwickeln. Da diese Anforderungen die breite Masse der Hersteller in ähnlicher Weise betraf, hat sich im Rahmen der EUREKA-Initiative ein internationales Netzwerk unter dem Umbrella CARE herausgebildet, in dem Forschungsvorhaben bzw. die Verbreitung von Forschungsergebnissen koordiniert werden. Auf der Ebene der Europäischen Union wurde diesem Thema jedoch erst in den letzten Jahren vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt, obwohl auf nationaler Ebene sehr viele Projekte liefen und die meisten international tätigen Unternehmen Ecodesign-Programme in ihre Technologieentwicklung integrierten. Beispiele für Forschungsprojekte in diesem Bereich sind:

- DEMROP – Design and Evaluation Method for the Recyclability of Products (BRITE/EURAM II, 1993-96) [DE/ 16]
- TOPROCO – Total Product Life-Cycle Cost Estimation (BRITE/EURAM II, 1994-98) [EU/ 11, DE/ 17]
- ElectSME – Elimination of end-of-life cost through a standardized simultaneous design methodology for SME supply chains (BRITE/EURAM III, 1998-01) [EU/ 12, DE/ 18]
- grEEEn – Cost management system for greening electrical and electronic equipment (GROWTH, 2001-03) [EU/ 5, DE/ 19]
- RELOOP – Reverse logistics chain optimization in a multi-user trading environment (ESPRIT IV, 1998-00) [EU/ 10, DE/ 20]
- PRONET – Product information system for business networks (TELEMATICS, 1996-97) [DE/ 32]
- ECOLIFE – Closing the loop of electr(on)ic products and domestic appliances (BRITE/EURAM III, 1998-01) [EU/ 3, DE/ 10]

- GreenPack – Green electronic packaging and environmental data flow management (2000-02) [EU/ 6]
- EPSILON – Environmental planning and control system for industrial logistic networks (ESPRIT IV, 1998-00) [EU/ 8]
- PAWS – Product acquisition from waste streams (BRITE/EURAM III, 1996-98 [EU/ 9]
- AEOLOS – End-of-life of product system (2000-02) [EU/ 13]

### ***Nationale Forschungsaktivitäten in Europa***

Die nationalen Forschungsaktivitäten in Europa orientierten sich thematisch an den gleichen politischen und technologischen Anforderungen bezüglich einer verbesserten Recycling-/ ReUse-Eignung von Produkten und eines Integrierten Umweltschutzes (EcoDesign), wie die Projekte auf der Ebene der Europäischen Union. Ein offensichtliches Ziel der nationalen und industriellen Forschung war und ist die Erarbeitung von Methoden und Werkzeugen für die umweltgerechte Gestaltung von Produkten und Prozessen (DfE). So wurden EcoDesign-Richtlinien und Handbücher in mehreren Staaten (Belgien, Frankreich, Österreich, Großbritannien, Portugal, Spanien, Niederlande, Schweden und Finnland) entwickelt. Bezüglich integrierten „Life Cycle“-Ansätzen (LCA/LCC) ist die prinzipielle methodische Grundlage in den vergangenen Jahren gelegt worden. Nun kommt es darauf an, branchenübergreifende Bedingungen zu schaffen, um diese Ergebnisse in die industrielle Praxis zu tragen. Ein deutlicher Forschungsbedarf besteht in der Implementierung von Systeminnovationen (*product service systems, networks of firms*) zur Erreichung eines Faktor X im integrierten Umweltschutz. Spezifische Themen in den Bereichen der Substitution von toxischen Stoffen, Recycling und ReUse sowie eine stetige Einsparung von Energie und Rohstoffen bleiben auch weiterhin relevante Forschungsaufgaben. Die vielfältigen FuE-Aktivitäten in Europa beweisen, wie wichtig das Thema Integrierter Umweltschutz für die Elektro- und Elektronikindustrie ist. Gleichzeitig wird die Notwendigkeit betont, die Forschung bzw. Wissenstransfer systematisch und interdisziplinär zu fördern, damit Ergebnisse schneller in die industrielle Praxis umgesetzt werden können. So kann beispielsweise die Schaffung von Umsetzungs- und Demonstrationszentren gerade für kleine und mittlere Unternehmen hilfreich sein, an diesem Prozess Anteil zu nehmen.

Eine Übersicht relevanter Forschungsvorhaben in Europa findet sich im Anhang.

#### **5.2.4 USA: Auswertung der Forschungsaktivitäten seit 1995<sup>45</sup>**

Der produkt- und produktionsintegrierte Umweltschutz in der amerikanischen Elektro- und Elektronikindustrie ist gegenwärtig durch eine Verlagerung des traditionell sehr extensiven Umgangs mit Ressourcen hin zu einer Senkung

---

<sup>45</sup> Bei der Erhebung der internationalen Entwicklungen wurde auf einen Unterauftrag an Greg Pitts, Executive Director of Ecolibrium in Ithaca, NY, USA; ehemaliger Leiter des *Environmental Programs* der MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation) in Austin und Koordinator der *Environmental Roadmaps of Electronics Industry* der USA zurückgegriffen.

des Verbrauchs gerade im Bereich der industriellen Fertigung gekennzeichnet. Die Ursachen für diesen Trend sind eine Verteuerung von Rohstoffen, die ökonomische Notwendigkeit einer höheren Kosteneffizienz und Straffung von Produktion und Logistik.

Die FuE-Aktivitäten amerikanischer Unternehmen und wissenschaftlicher Institutionen konzentrieren sich daher besonders stark auf die Optimierung von Fertigungsprozessen in dem Bemühen um einen kosteneffizienten Einsatz von Ressourcen (Energie, Wasser) und Materialien. Beispiele zeigen sich vor allem in Produktionsbereichen mit einer sehr hohen Wertschöpfung wie der Halbleiter- und Leiterplattenfabrikation.

Im Bereich der Halbleiterherstellung förderte das U.S. Department of Energy (DoE) bereits seit Mitte der 1990er Jahre die Entwicklung und Demonstration sauberer Fertigungsverfahren im Rahmen des NICE3 Programms. Zwei von der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) getragenen Projekte:

- REVO – Revolutionary environmental manufacture of PWBs,
- EVO – Permanent dry film resist for PWB process simplification and environmental benefit,

als auch das DfE-Projekt (PWB) der Environmental Protection Agency (EPA) sind Beispiele aus dem Bereich der Leiterplattenfertigung, die durch eine Optimierung von Fertigungsverfahren eine Umweltentlastung anstrebten. Forschungsthemen sind in diesem Zusammenhang die Entwicklung neuer, umweltverträglicher Materialien sowie Prozesse bei Beschichtungsverfahren, die den Wasser- und Energieverbrauch deutlich senken (Direct Copper Plating von HADCO, SO<sub>3</sub> Cleaning Process in Semiconductor Manufacturing von Anon Inc., Laminate aus nachwachsenden Rohstoffen von IBM oder ein Permanentresist von DuPont), als auch die Mikrovia-Technologie, die den Materialeinsatz bzw. -abfall verringert.

Trotz dieses Bestrebens um eine Ressourcen- und Materialeinsparung ist die Intention hierfür nicht primär der produktintegrierte Umweltschutz, sondern die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Prozessen. Dies zeigt sich gerade auch in der Diskussion um den Einsatz bzw. Ersatz als gefährlicher eingestufte Stoffe wie Blei und bromierter Flammschutzmittel.

Die Entwicklung von bleifreien Loten beispielsweise wird aus technischen Gründen von der Automobilindustrie und ihren Zulieferunternehmen (Ford Visteon, Delphi-Delco Electronics) getragen. Das Interesse an bleifreien Loten dieser Branche resultiert aus dem Umstand, dass die Automobilhersteller die operativen Temperaturen in ihren Produkten erhöhen wollen. Diese höheren Temperaturen können mit herkömmlichen eutektischen Sn/Pb-Loten nicht realisiert werden.

Innerhalb des Elektroniksektors sind es Lucent und Motorola, die sich für die Entwicklung von bleifreien Materialien aussprechen und eigene Forschungen betreiben. Allerdings sind die umstrittene Funktionalität und Wirtschaftlichkeit

bleifreier Lote und Bauelemente entscheidend dafür verantwortlich, dass sich die übrige Elektronikindustrie der USA sehr zurückhaltend gegenüber dieser Umweltproblematik äußert und nur geringe Anstrengungen unternimmt, Ersatzstoffe zu entwickeln. Unterstützt wird diese Haltung durch Studien, die auf die negativen wirtschaftlichen Auswirkungen einer Umstellung auf bleifreie und halogenfreie Elektronik hinweisen und betonen, dass die damit erzielte Umweltentlastung in keinem realen Verhältnis von ökonomischem Aufwand und ökologischem Nutzen steht (Diffusing the Lead Debate Initiative der Electronic Industry Association, EIA).

Im Gegensatz zu Europa und Japan wird die Forschung hinsichtlich einer besseren Recyclingeignung als auch der Recyclingprozesse nur vergleichsweise geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Die Forschung in diesem Bereich wird derzeit vom Department of Defense (DoD) und Department of Energy (DoE) vorangetrieben, die mit Vorhaben in Millionenhöhe die Aufbereitung von elektr(on)ischen Erzeugnissen fördern und zur Schaffung von sogenannten Recycling-Center beitragen. Projekte in diesem Zusammenhang sind die vom U.S. Army Industrial Ecology Center (DoD) und National Energy Technology Laboratory (DoE) getragenen Forschungsvorhaben:

- DEER2 – Demanufacturing of electronic equipment for reuse and recycling
- Research, commercialization and workforce development in the polymer/ electronics recycling industry

Kleinere Studien der National Science Foundation (NSF) in Zusammenarbeit mit Universitäten beschäftigten sich mit dem Aufkommen von Altgeräten (Disposition and End-of-Life Options for PCs, Carnegie Mellon University) und Modellen zur Steigerung der Effizienz von Rücknahmesystemen (Analytical Modelling for Demanufacturing Operations, Ohio State University). Das Multi-lifecycle Engineering Research Center (MERC) des New Jersey Institute of Technology (NJIT) greift in mehreren Verbundprojekten (Thrust DfDMLC) komplexe Themen hinsichtlich der Demontage und Verwertung von Altgeräten auf.

Das unternehmerische Interesse konzentriert sich auf das Materialrecycling und hierbei vorrangig auf das Recycling von Kunststoffen mit einer höheren Wertschöpfung (PC/ABS/HIPS). Nennenswerte Anstrengungen unternahmen u.a. die Unternehmen DuPont, MBA Polymers, Butler-MacDonald und Lucent Technologies in der Verbesserung der Separation, Reinigung und sortenreinen Trennung von Thermoplasten. Die Environmental Protection Agency (EPA) und andere nichtkommerzielle Institutionen engagieren sich seit 1999 für einen besseren Dialog mit den großen Herstellern (OEM) zur Ausweitung der Recyclingaktivitäten für Kunststoffe aus Elektronikaltgeräten (Stakeholder Dialogues on Recycling Engineering Thermoplastics). Der Fokus dieser Bestrebungen ist der Ausbau von Standards und Märkten für rezyklierte Kunststoffe. Auch andere private (Recycling-)Unternehmen sind an der Aufstellung von standardisierten Testprotokollen als Ausgangsbasis für eine Handels- und Nutzungsklassifizierung rezyklierter Kunststoffe interessiert.

Obwohl es einige Bemühungen im Bereich des Recycling und ReUse von qualitativ hochwertigen Elektro- und Elektronikzeugnissen gibt, z.B. auch die Common Sense Initiative der EPA, sind die Forschungsaktivitäten nur sehr gering ausgeprägt. Die vergleichsweise hohen Kosten, die mit der Rückführung und dem Recycling verbunden sind, übersteigen in der Regel die Erlöse aus dem Materialrecycling. Fehlende gesetzliche Auflagen und Anreize tragen zur Zurückhaltung der Unternehmen beim Recycling bei.

Eine Übersicht relevanter Forschungsvorhaben in den USA findet sich im Anhang.

### 5.2.5 Japan: Auswertung der Forschungsaktivitäten seit 1995

Japans Industrieforschung im Bereich des Integrierten Umweltschutzes wird seit Jahren durch flankierende Maßnahmen des Staates begleitet. So stellt der japanische Staat zwar vergleichsweise geringere Forschungsmittel zur Verfügung als Europa oder die USA<sup>46</sup>, übernimmt dafür aber bei der Bildung und Koordinierung großer nationaler Forschungsvorhaben eine aktivere Rolle. Diese groß angelegten nationalen Projekte, an denen sich teilweise alle führenden Elektronikhersteller beteiligen, greifen Forschungsthemen auf, die für die Zukunft als entscheidend erachtet werden. Sie dienen der Industrie, einen Konsens über mittel- und langfristige Technologieschwerpunkte zu erzielen. Der produktionsintegrierte Umweltschutz ist ein solches Thema, das von den führenden Unternehmen aufgegriffen wurde.

Aufgrund der limitierten Deponiekapazitäten in Japan und einer seit Mitte der 1990er Jahre kontinuierlich verschärften Umweltgesetzgebung, die eine stärkere Herstellerverantwortung (Extended Producer Responsibility, EPR) fordert, hat sich die japanische Elektronikindustrie in den letzten Jahren verstärkt dem Thema des Recycling und ReUse ihrer Produkte zugewandt. Alle Aspekte in diesem Zusammenhang, d.h. die Rücknahmeinfrastruktur, die Separation/Demontage, das Produkt- und Materialrecycling sowie die Entwicklung von ReUse-Strategien werden derzeit durch umfangreiche Forschungsvorhaben auf nationaler Ebene flankiert.

Die FuE-Aktivitäten konzentrierten sich bis Ende der 1990er Jahre mit großen Forschungs- und Demonstrationsprojekten auf komplexe Lösungen für ein umfassendes End-of-Life Management. Die 1994 vom MITI (heute METI) initiierte und von der Association for Electric Home Appliances (AEHA) bis 1997 im Großversuch betriebene Elektrogeräte-Recyclinganlage in der Präfektur Saitama war neben der 1999 eingeweihten ISP-Modellfabrik (Recyclinganlage in Nakamachi) der Versuch, eine (teil-) automatisierte Demontage und das Recycling von Elektro-Haushalts-Geräten im großindustriellen Maßstab zu demonstrieren. Diese Testanlagen zeigten jedoch recht schnell die Grenzen einer ausschließlich am Lebensende ansetzenden Recyclingstrategie. Als Reaktion auf diese Versuche konzentrieren sich die gegenwärtigen Forschungsaktivitäten

---

<sup>46</sup> Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bundesbericht Forschung 2000, Bonn, 2000



ten auf zwei vielversprechendere Ansätze. Zum einen stehen vereinfachte Verfahren für das spezifische Material- und Baugruppen-Recycling im Vordergrund der Bemühungen. Die Materialerkennung und Informationsbereitstellung von Daten für das Recycling bzw. ReUse von Materialien und Bauteilen bilden einen Schwerpunkt der Forschung. Diese Entwicklungen sind unmittelbar an ein integriertes Design for Dissassembly (DfD) bzw. Design for Recycling (DfR) gebunden. Daher beinhalten eine Reihe von Großprojekten Teilvorhaben, die sich mit einem Recycling-orientierten Design beschäftigen. Das Manufacturing Science and Technology Center (MSTC) entwickelt z.B. in Zusammenarbeit mit der Industrie einfach zu lösende Verbindungen auf der Basis von sogenannten *smart materials* (SMA/SMP). Diese Legierungen und Polymere, die durch Temperaturänderung ihre Form verändern, können die Demontage von komplexen Produkten effizient und schnell gestalten.

Um der künftigen Produkt- und Prozessentwicklung geeignete Werkzeuge an die Hand zu geben, mit denen die gesamte Lebensphase eines Erzeugnisses in die Gestaltung (Design for Environment) einbezogen werden kann, finden seit geraumer Zeit mehrere Forschungsvorhaben statt, die sich mit LCA und der Entwicklung entsprechender Software-Tools beschäftigen. Das derzeit größte Vorhaben dieser Art (The LCA Project) wird vom Industrieministerium (METI) gefördert und von der Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI) in Kooperation mit allen führenden Elektronikherstellern Japans geleitet. Darüber hinaus beschäftigen sich eine Fülle von öffentlichen und privat getragenen Projekten mit der Entwicklung von LCA-Methoden und anwendungsbezogenen Werkzeugen. Das Full Cost Accounting (FCA), Life Cycle Accounting (LCC) und Eco-Labeling finden dabei vermehrt Beachtung.

Die Prozess- und Produktoptimierung hinsichtlich des Ressourcenverbrauches (Energie, Wasser, Materialien) ist ebenfalls integraler Bestandteil der DfE bezogenen Forschung. Der Verringerung des Energieverbrauches und damit der Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emission in der Herstellung und Nutzungsphase eines Produktes wird besondere Beachtung geschenkt. Parallel zu dieser technologischen Entwicklung fließen LCA Ergebnisse bereits in diese Prozesse ein. Die industrielle Forschung ist in dieser Hinsicht sehr aktiv.

In diesen Bereich fallen auch die sehr großen und von der Industrie angeregten Forschungsvorhaben zur Ermittlung von geeigneten Ersatzstoffen für bleihaltige Lote, bromierte Flammschutzmittel und anderen umweltkritischen Substanzen. Diese Projekte spiegeln das große Interesse der japanischen Hersteller wider, Schadstoffe aus den Produkten zu eliminieren und damit nicht nur zur Erhaltung der Umwelt und Gesundheit, sondern auch zur Erleichterung des Recyclings bzw. der Entsorgung der Produkte beizutragen. Die in Japan im April 2001 in Kraft tretende Recyclingverordnung für Elektro-Haushaltsgeräte als auch wettbewerbsorientierte Beweggründe können als Anstoß für diese Entwicklung gesehen werden. Beachtung sollte der Umstand finden, dass die gesamte Industrie diesem Thema eine große Aufmerksamkeit schenkt. Das 1999 recht erfolgreich beendete Projekt (R&D of Lead-free Soldering Standardization) der JEMAI, JEIDA und JWS gab den Anstoß für weitere Projekte. Zurzeit laufen drei große Vorhaben:

- EFSOT – Next generation environmentally friendly soldering technology (IMS, 2000-2001) [JP/ 2]
- Standardization of lead-free finish of components (JEITA, 2000-2001) [JP/ 3]
- Low-temperature lead-free soldering project (JIEP, 2000-2002) [JP/ 4]

Eine Übersicht relevanter Forschungsvorhaben in Japan findet sich im Anhang.

### 5.3 Elektro-/ Elektronikrelevante Roadmaps mit Umweltbezug

Technologische Roadmaps dienen der Identifizierung künftiger Produkt- und Technologietrends für ausgewählte Sparten eines Industriesektors. Solche in den USA und Japan zunehmend Verbreitung findenden Trendberichte sind zu einem wertvollen Instrument der strategischen Planung unternehmerischer Aktivitäten geworden. Roadmaps werden zum großen Teil von Industrieverbänden erstellt und beinhalten in der Regel eine Beschreibung des technischen Status Quo, der Markt- bzw. Konjunkturlage und seltener der gesetzgeberischen Situation. Der Bestandsaufnahme folgt eine detaillierte Darstellung, die grundsätzliche technologische Tendenzen und Anforderungen für einen Zeitraum von meist fünf bis zehn Jahren zusammenfasst.

Roadmaps werden in der Regel für die Verbreitung ausgewählter technischer Problemstellungen erstellt und sprechen gezielt Unternehmen und Forschungsinstitutionen an. Damit kommt den Roadmaps eine wichtige Funktion in der Kommunikation künftiger Aufgaben zu. Gerade innerhalb der japanischen Industrie haben Roadmaps zur Konsensbildung hinsichtlich der Verfolgung einzelner Technologietrends (bleifreie Elektronik) beigetragen.

Gegenwärtig sind Roadmaps vorrangig in der Mikroelektronik anzutreffen. Dieser Umstand ist sicherlich auf die hohe Innovationsgeschwindigkeit und Fülle der technischen Entwicklungen zurückzuführen, als auch auf den Umstand, dass in diesem Sektor wirkliche Technologiesprünge seltener erfolgen, als man der Industrie zuschreibt.

Seit geraumer Zeit wird dem Bereich des Umwelt- und Gesundheitsschutzes auch in technologischen Roadmaps vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Die umweltgerechte Gestaltung von elektronischen Erzeugnissen und den damit verbundenen Fertigungsverfahren sind in den USA und vor allem in Japan ein Thema von Roadmaps. In Europa sind entsprechende Aktivitäten weniger verbreitet.

#### 5.3.1 Deutschland

##### *GMM – Der europäische Trendbericht 1999 über HDI-PWBs*

Die Initiative zu diesem Trendbericht wurde im September 1997 vom Fachausschuss „Leiterplattenfertigung“ (FA 5.2) der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelekt-

ronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM) ergriffen. Diese Roadmap erfasst die europäischen Trends zur Leiterplattenherstellung mit hohen Integrationsdichten (High Density Interconnections). Bei der Gestaltung des Berichtes wurde sich an der IPC Roadmap 1997 orientiert.

Die fortlaufende Miniaturisierung wird kleinere Bauteilformen fordern und eine Materialeinsparung ermöglichen. Der Trend wird daher weg von Standard Fine-Pitch-SMT, Tape Automated Bonding (TAB), Chip On Board (COB) hin zu Thin Small Outline Packages (TSOP), Ball Grid Array (BGA), Chip Size Packages (CSP) und keramischen Bauteilen gehen. Als Leiterplattenbasmaterial wird in allen Anwendungen Aramid in Kombination zu Epoxidharz-FR4 zum Einsatz kommen.

Die GMM Roadmap verzeichnet im Hinblick auf die Substitution von kritischen Stoffen einen Bedarf an neuen Materialien wie bleifreien Loten und halogenfreien Substraten, die allerdings eine hohe Zuverlässigkeit haben müssen. Eine Energie- und Rohstoffeinsparung soll allgemein durch die Verknüpfung von Umwelt- und Qualitätsmanagement erzielt werden.

Mit Bezug auf den Umweltschutz werden folgende Themen benannt:

### ***Momentane Situation***

- Zertifizierung nach EG-Öko-Audit-Verordnung 167/93 EWG oder ISO 14000
- Umstellung auf Europäischen Abfallkatalog
- Erstellung der Abfallkataster
- Reduzierung halogener Flammhemmer
- EU-Richtlinienentwurf über den Einsatz bleifreier Lote

### ***Nahe Zukunft (in 3-5 Jahren)***

- Verbindung von Arbeitssicherheits- und Umweltmanagementsystemen (EHS-Management) und Integration von Umweltmanagement und Qualitätsmanagement
- Kosteneinsparungen durch Wettbewerb im Entsorgungsbereich werden spürbar
- Volle Wirksamkeit des Kreislaufwirtschaftsgesetzes in Deutschland
- Vermeidung halogenhaltiger Flammhemmer
- Die Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen wird von zurzeit 20% auf 30% (2001-2003), dann auf 50% (2004-2009) steigen.

### ***Ausblick (in 6-10 Jahren)***

- Integration von Qualitäts-, Umwelt- und Sicherheitsmanagementsystemen

### 5.3.2 USA

#### ***IPC (Institute for Packaging and Interconnection): The National Technology Roadmap for Electronic Interconnections 2000/2001***

Die amerikanische Industrievereinigung IPC (Institute for Packaging and Interconnection) repräsentiert über 2700 Elektronikunternehmen aus dem Bereich der Baugruppenfertigung. Die aktuelle National Technology Roadmap for Electronic Interconnections ist die Fünfte in einer Serie von fortlaufenden Studien seit 1993 zur Identifizierung zukünftiger Produkt- und Technologietrends in den Bereichen gedruckte Schaltungen und Leiterplattentechnologie, Verbindungstechnik und Baugruppenteknologie.

Die IPC Roadmap behandelt den Bereich Umwelt, Gesundheit und Sicherheit (EHS, Environment, Health and Safety) in einem gesonderten Kapitel (Part F). Darin wird die Notwendigkeit der Einbeziehung von Umwelt- und Gesundheitsaspekten in die Prozesse der Produktgestaltung und -fertigung ausdrücklich betont, gleichzeitig aber auch festgestellt, dass eine Umweltentlastung bereits durch ein effizientes Kostenmanagement erzielt wird.

#### *Kostenmanagement*

Der rigorose Wettbewerb innerhalb dieses Sektors der Elektronikindustrie fordert von den Unternehmen die ständige Optimierung der Fertigungsprozesse und eine Reduzierung der laufenden Kosten. Der Rohstoff- und Materialverbrauch sowie die Abfallaufbereitung und -entsorgung bieten ein großes Potenzial zur Kosteneinsparung und Umweltentlastung.

Gegenwärtig fehlt es aber an einfachen Methoden und Werkzeugen zur Bestimmung dieser spezifischen Daten (LCC), die eine ökonomische und ökologische Bewertung von Aktivitäten der Unternehmen repräsentativ ausdrücken. IPC und EPA (U.S. Environmental Protection Agency) entwickeln derzeit gemeinsam mit anderen Institutionen unter dem Stichwort *EHS Benchmarking* ein Software-Tool, welches eine Datenerfassung und Auswertung von Stoffströmen, umweltrelevanten Kosten und Umweltauswirkungen vereinheitlichen soll. Dieses Tool bietet die Möglichkeit, kostenintensive Investitionen in den Umweltschutz genauer zu bestimmen und diese gegenüber dem Markt, den Finanzinstituten und den Behörden besser zu positionieren. Dies ist eine Idee, die aufgegriffen werden sollte.

#### *Umweltmanagement*

Einige größere Unternehmen der Branche haben in den letzten Jahren sehr erfolgreich ein freiwilliges Umweltmanagement mit dem Ziel eingeführt, ihre Schadstoffemission zu reduzieren und Kosten durch einen nach Umweltgesichtspunkten optimierten Material- und Rohstoffeinsatz zu senken. Eine Kostenersparnis wurde auch durch eine erweiterte Kreislaufführung von kritischen Stoffen im Produktionsprozess (in-line-recycling) erreicht. Ein treibendes Element in dieser langsam zunehmenden Entwicklung ist die positive Resonanz der Börse auf Firmen, die freiwillig ein Umweltmanagement einführen.

Dieses positive ökologische und ökonomische Modell soll nach Meinung der IPC verstärkt auch in kleine und mittlere Unternehmen hineingetragen werden.

In einem auszubauenden Dialog mit den amerikanischen Behörden versucht die Industrie, einen flexibleren Umgang bezüglich der Umweltschutzbestimmungen mit dem Ziel zu erwirken, die aus diesen Bestimmungen resultierenden finanziellen Belastungen für die Unternehmen zu mindern. So sollen freiwillige Selbstverpflichtungen, etwa zu einer Zertifizierung nach ISO 14000, mit Erleichterungen bei den Umweltschutzaufgaben von Seiten des Staates honoriert werden. Als Begründung wird beispielsweise vom IPC der sehr destruktive Charakter der amerikanischen Umweltgesetzgebung benannt, der ein freiwilliges Engagement der Unternehmen eher behindert und wenig Anreize für die Industrie schafft. Eine neue Gesetzgebung solle sich wesentlich spezifischer an den Merkmalen individueller Produkte und Herstellungsverfahren sowie unterschiedlicher Standorte und Produktionsstätte orientieren.

#### *Technologische Trends*

Die zukünftigen technologischen Anforderungen innerhalb der Baugruppenfertigung werden durch die weiter zunehmenden Leistungsansprüche bei gleichzeitig immer kleiner werdenden Volumen der Bauelemente und Leiterplatten bestimmt. Kurzum, Funktionalität und Leistung sollen in einer noch kleineren Form realisiert und der Preis reduziert werden. Die Lösung liegt in HDI-Bauformen, Multilayer- und Microvia-Technologie.

Folgende technologische Trends werden benannt:

- Zunahme der Funktionen und I/Os (Input/Output) bei integrierten Schaltungen
- höhere Dichte der Schaltungen durch BGAs, CSPs und Flip Chip Technologien
- anstelle einer Vielzahl diskreter, passiver SMD werden verstärkt integrierte passive Bauteile (IPD, Integrated Passive Devices) zu Einsatz kommen
- Weiterentwicklung von Single Chip Substraten und Multi Chip SIP (System in a Package) Substraten gleichermaßen
- SOI (Silicon on Insulator) als wesentliches Design für Komponenten
- Integration von passiven Bauelementen in eine komplexere Leiterplattenarchitektur
- aktive Bauelemente in Computern wie CPUs werden auf passiven Backplanes (Steckkarten) eingebaut und sind damit schneller zu reparieren und zu erneuern
- flexible Substrate und Leiterplatten für 3D Applikationen und der Einsatz in schock- und vibrationsgefährdeter Umgebung nehmen zu
- dünnere und hochwertige Basismaterialien (Epoxidharze, Polyimide, Cyanatester), Lamine und Kupferbeschichtungen werden entwickelt, um die Miniaturisierung voranzutreiben
- Verbesserung der HDI-Bauformen, Herstellung und Metallisierung von Microvias

- Trend zur Optoelektronik und Micro ElectroMechanical Systems (MEMS)
- Verlagerung der Qualitätskontrolle in den Fertigungsprozess (Real Time Feedback), um Fehler noch in der Fertigung zu korrigieren.
- Etablierung von „no-clean“ Flux-Technologien

Diese allgemeinen technologischen Trends haben indirekt eine Umweltentlastung zur Folge. Dünnere Materialien bewirken eine positive Senkung des Material- und Rohstoffeinsatzes. Ähnliches kann für das Bemühen um eine Reduzierung der Prozessschritte in der Leiterplattenfertigung und die Vermeidung aufwendiger Nassverfahren durch trockene Verfahren gesagt werden. Die im Zuge eines verbesserten Qualitätsmanagements angestrebte Verlagerung der Qualitätskontrolle in den unmittelbaren Fertigungsprozess kann ebenfalls als integrierter Umweltschutz beurteilt werden, obwohl die primäre Motivation nicht aus dem Bereich des Umweltschutzes stammt.

Neben diesen allgemeinen technologischen Trends werden spezifische Umweltschutzanforderungen benannt. Die IPC Roadmap sieht die Schadstoffentfrachtung von Produkten und Prozessen als eine vorrangige Aufgabe. Daneben wird der Kreislaufführung von kritischen Stoffen als auch dem Recycling stärkere Beachtung geschenkt. Hieraus ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

#### *Reduktion gefährlicher Substanzen in Produkten und Prozessen*

Das größte Potenzial zur Umweltentlastung in der Leiterplatten- und Baugruppenfertigung liegt in der Vermeidung des Einsatzes kritischer Stoffe und der Entwicklung schadstoffarmer Materialien. Dies ist oftmals an völlig neue Prozesse und Fertigungsanlagen gebunden. Die Erforschung und Überprüfung neuer Verfahren und Materialien ist zeit- und kostenintensiv und daher für einzelne Unternehmen mit enormen Risiken verbunden.

Die von politischen Bestrebungen in der EU (WEEE) angestoßene Eliminierung von Blei in der Elektronik ist nur ein Beispiel in diesem Zusammenhang. Viele Unternehmen in den USA lehnen ein Verbot von Blei ab, da ihrer Meinung nach eine aktive Umweltentlastung durch bleifreie Lote nicht bestätigt und die Zuverlässigkeit alternativer Legierungen umstritten ist. Dennoch wird in der IPC Roadmap eine mittelfristige Ablösung von Blei prognostiziert (ab 2002 soll das Oberflächenfinish bleifrei sein).

Teil B: Status Quo und Anforderungen

Thema	Zielstellung	Maßnahmen
Bleifreie Lote / Bauelemente	Umstellung auf bleifreie Lote und Bauelemente	Ermittlung kommerziell verfügbarer Alternativen für bleihaltige Lote; Entwicklung von Leitlebern; Ermittlung von alternativen Oberflächenfinishes für herkömmliches HASL
Lötflussmittel (Flux)	Flux-freie Verbindungstechnik	Ermittlung gering VOC-haltiger und VOC-freier Flussmittel; Untersuchung von plasma-unterstützten Lötverfahren
Leitende Kleber	Entwicklung zuverlässiger und lösungsmittelfreier Alternativen	Weiterentwicklung und Einführung neuer Mischungen für leitende Kleber
Halbwässrige Reiniger	Vermeidung von Reinigern durch Flux-freie Verbindungstechnik	Entwicklung eines „on-site“ - Recycling in der Fertigung
Wässrige Reiniger	Entwicklung von geschlossenen Kreislaufsystemen; Biologische Abbaubarkeit verbessern	Optimierung bestehender „on-site“ -Recyclingmethoden
Bromierte Flammhemmer	Vermeidung des Einsatzes von bromierten Flammhemmern; Halogenfreie Leiterplatte	Notwendigkeit der Einhaltung der UL 94V-0 Brandschutznorm für einzelne Produkte prüfen; Ermittlung kommerziell verfügbarer, kostengünstiger Alternativen mit gleichen Eigenschaften
Additive Prozesse und Direktmetallisierung	Eliminierung von Material und Verfahrensschritten	ECP (electroless copper plating) u. andere Verfahren
Ätzen	Vermeidung von Ätzzvorgängen Geschlossene Kreislaufführung	„On-site“ -Rückgewinnung / Recycling von Ätzmitteln
Lamination	Entwicklung von Niedertemperatur Materialien mit kürzeren Trockenzeiten zur Einsparung von Energie	

*Tabelle 3: Themenfelder der IPC Roadmap hinsichtlich einer Schadstoffentfrachtung*

*Recycling und ReUse*

Neben einer starken Betonung der Vermeidung von Abfällen wird dem Recycling und damit einer geschlossenen Kreislaufführung von spezifischen Chemikalien, die in der HAP-Liste (Hazardous Air Pollutants) und TRI-Liste (Toxic Release Inventory) aufgeführt sind, besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die IPC betont, dass die Leiterplattenherstellung viele Möglichkeiten bietet, den Einsatz kritischer Stoffe zu minimieren. So zeigten durchgeführte Studien, dass traditionelle Direktmetallisierungsprozesse auf der Basis von Formaldehyd durch neue Verfahren auf der Basis von Kohlenstoff, Graphit, Palladium und leitenden Polymeren abgelöst werden könnten. Das Recycling von metallischen Verbindungen, Ätzlösungen, Fotoresist-Materialien und anderen Betriebsmitteln aus der Fertigung muss ausgeweitet werden. Bei den heute existierenden 20 bis 30 grundsätzlichen Verfahren in der Leiterplattenfertigung müssen entsprechend unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Das Recycling innerhalb des Fertigungsprozesses wird als entscheidend angesehen. Hinsichtlich des Recycling von Leiterplatten und Baugruppen aus Altgeräten werden in der IPC Roadmap folgende Recyclingquoten benannt:

Zeitraum	Produktgruppe/ Quote	Produktgruppe/ Quote
	Low Cost Electronics Consumer Electronics Haushaltselektronik Autoelektronik	Cost Performance Electronics Microwave Electronics Medizintechnik Flugzeugelektronik
2000 – 2001	20-30%	10-20%
2002 – 2003	30-40%	20%
2004 – 2005	40-60%	30%
2006 – 2010	60-70%	30%

*Tabelle 4: Recyclingquoten von Leiterplatten (Schätzung)*

***ITRS - International Technology Roadmap for Semiconductors 1999/ 00***

Die ITRS identifiziert die technologischen Anforderungen an die Halbleiterindustrie für die kommenden 15 Jahre. Diese Roadmap wird von der SIA (Semiconductor Industry Association), der EECA (European Electronic Component Association), der JEITA (Japan Electronics & Information Technology Industries Association), der KSIA (Korean Semiconductor Industry Association) und der TSIA (Taiwan Semiconductor Industry Association) gefördert. Die international ausgerichtete SEMATECH ist das Forum für diese Aktivitäten. Die aktuelle ITRS basiert auf der SIA National Technology Roadmap for Semiconductors 1998.

Die ITRS Roadmap wird von sogenannten Technology Working Groups (TWG) erstellt, die sich mit unterschiedlichen Themen befassen. Eine TWG beschäf-



tigt sich ausschließlich mit dem Thema Umwelt, Sicherheit und Gesundheit (EHS).

Ähnlich der IPC Roadmap sind die thematischen Schwerpunkte der ITRS eine verstärkte Schadstoffentfrachtung von Produkten und Prozessen sowie eine deutliche Reduktion des Energie- und Rohstoffverbrauchs. Ein Überdenken des Umgangs mit Chemikalien und die Vermeidung kritischer Stoffe (Blei, halogene Flammmhemmer und Beryllium) wird ebenso gefordert, wie ein verbesserter Emissionsschutz durch eine geschlossene Kreislaufführung. Im Gegensatz zur IPC wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, Methoden des LCA und DfE grundsätzlich zu entwickeln.

Thema	Zielstellung	Maßnahme
Eliminierung kritischer Substanzen	Reduzierung des Einsatzes von Blei in Loten; Antimon und Brom in Flammmhemmern und Beryllium in Keramiken; Reduktion des Einsatzes von Lösungsmitteln und anderen toxischen Prozessstoffen; Verbesserung der Datenbasis zu Chemikalien und eingesetzten Materialien; Verbesserung der Methoden zur Bewertung und Zulassung neuer Chemikalien und Materialien; Effizientes Umweltmanagement zur Aufdeckung von Defiziten im Umgang mit Chemikalien;	Ermittlung von Alternativen für Pb bis 2001/02 und Substitution bzw. besseren Entsorgungskonzepten bis 2004; ein Kostenanstieg um 10% bis 15% wird erwartet; Dokumentation und Bereitstellung von Daten über Chemikalien und eingesetzten Materialien bis 2005; Entwicklung neuer Bewertungsnormen für Chemikalien; Material LCA (Methodik bis 2004); PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) bis 2004
Reduktion des Energie- und Rohstoffverbrauchs	Emissionsschutz; Optimierung der Wafer fabs zur Energieeinsparung; Senkung des Energie-, Wasser- und Materialverbrauchs durch bessere Herstellungsverfahren und on-site Recycling;	Energieeinsparung durch Vergrößerung der Waferfläche und Entwicklung sparsamerer Geräte ; 0,5 bis 0,7 kWh/cm <sup>2</sup> Chip (bis 2004); ,4 bis 0,5 kWh/cm <sup>2</sup> Chip (ab 2005); Reduzierung der PFC Emission bis 2010 um 10% gegenüber 1995; Nutzung alternativer Chemikalien für Ätz- und Reinigungsprozesse; Kreislaufführung von Gasen und Chemikalien; angestrebte

		Recyclingraten: 60% (bis 2001), 65% (bis 2004), 70% (ab 2005) u. 80% (ab 2008); Reduzierung des Rohwassereinsatzes: 7,6 Liter/cm <sup>2</sup> (2000), 5,9 Liter/cm <sup>2</sup> (2002), 3,5 Liter/cm <sup>2</sup> (2004); Reduzierung des DI-Wassereinsatzes: 5-8 Liter/cm <sup>2</sup> Chip (2001), 5-7 Liter/cm <sup>2</sup> Chip (bis 2004);
Design for Environment	Ermittlung und Bewertung umweltrelevanter Material- u. Prozessdaten; Umweltgerechte Produkte und Prozesse	Umweltbilanzierung und LCA-Methodik entwickeln bis 2004; Implementierung dieser Daten in Design u. Fertigung von Produkten
<p><i>Tabelle 5: Themen und Anforderungen der ITRS bezüglich eines Integrierten Umweltschutzes</i></p>		

### ***NEMI (National Electronics Manufacturing Initiative) Technology Roadmap 2000***

Die NEMI ist ein industriegeführtes Konsortium von ca. 50 amerikanischen Equipmentherstellern, Zulieferern, Regierungsstellen und akademischen Institutionen. Die Roadmap der NEMI soll die bestehenden Infrastrukturschwächen in der Elektronikindustrie aufzeigen und Anforderungen an die Forschung benennen. Als entscheidende Themen der Zukunft werden eine weitere Erhöhung von Produktivität und Kosteneffizienz vorrangig durch ein besseres Supply Chain Management und eine verstärkte Einbeziehung umweltrelevanter Aspekte in Produktion und Management identifiziert. In der Umsetzung umweltgerechter Produkte und Prozesse sowie im Umweltmanagement sieht NEMI einen hohen Bedarf, den Rückstand der US-amerikanischen Industrie gegenüber japanischen und europäischen Unternehmen aufzuholen. Gerade vor dem Hintergrund der zunehmenden gesetzlichen Aktivitäten in Europa und Japan besteht nach NEMI die Notwendigkeit, neue Umweltstandards für Produkte und Verfahren zur Sicherung der Wettbewerbsposition zu etablieren. Die Schwerpunkte der technologischen Entwicklung für einen integrierten Umweltschutz aus Sicht der NEMI sind:

- die Minimierung der negativen Umweltauswirkungen von Produkten am Ende der Nutzungsphase durch Recycling und ReUse.
- Eliminierung kritischer (toxischer) Materialien und Stoffe durch Identifizierung, Entwicklung und Qualifizierung von schadstoffarmen Alternativen.

Thema	Zielstellung	Maßnahme
Eliminierung kritischer Substanzen	Identifizierung, Entwicklung und Qualifizierung von Alternativen	Schnelle Entwicklung bleifreier Verbindungstechniken (Pb-Free-Solder-Program 1999 - 2001); Substitution von halogenierten Flammhemmern, Beryllium, Quecksilber, Chrom VI und Cadmium
Reduktion des Energie- und Rohstoffverbrauchs	Verminderung der CO <sub>2</sub> -Emission; Reduktion von Prozessschritten in der Fertigung; Größere Miniaturisierung und höhere Funktionalität in der Baugruppenfertigung; Einführung optoelektronischer Komponenten	Geschlossene Kreislaufführung von Stoffen/ Betriebsmitteln; Ausweitung der „Flip Chip“ - (FC) und „Chip Scale Package“ - (CSP) Anwendungen; HDI/ Microvia-Technologie mit sequentiell aufgebauten Multilayer; On-site Qualitätskontrolle
Design for Environment	Umwelt- und recyclinggerechte Produkte und Prozesse Produktrücknahme (take back), Recycling und ReUse für Elektronikprodukte etablieren	Investitionen in Design-, Test- und Simulations-Tools; System-on-chip (re-usable cores); System-on-package; Standardisierung von Verfahren und Materialien
Umweltmanagement	Umsetzung von DfE-Methoden innerhalb der gesamten Elektronikbranche	Supply Chain Management; Daten- und Informationsaustausch zwischen Zulieferern, Herstellern und Endverbrauchern etablieren
<i>Tabelle 6: Zielstellung und Maßnahmen der NEMI</i>		

***High Density Packaging Users Group International (HDPUG)  
 Environmentally Compliant Electronics Framework Specification  
 2000***

Die HDP User Group ist eine internationale Organisation bestehend aus Vertretern der Elektronikindustrie in Bereich HDP mit Sitz in Arizona, USA.

In ihrer Environmental Roadmap setzt sich die HDPUG für blei- und halogenfreie Elektronik ein und betont die Notwendigkeit einer schnellen Umsetzung von DfE in die Praxis.

Thema	Zielstellung	Maßnahmen
Eliminierung kritischer Substanzen	Substitution von Blei und halogenierten Flammhemmern in den nächsten	halogenfreie FR4 Lamine; bleifreie Lote; halogenfreie Chip-Gehäuse;

Teil B: Status Quo und Anforderungen

	Jahren	PVC-Ersatz; rezyklierbare Leiterplatten; Biologisch abbaubare Laminate;
Reduktion des Energie- und Rohstoffverbrauchs	Optimierung des gesamten Lebenszyklus von Produkten; Senkung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase; Senkung der Emissions- und Abfallbelastung	Solar getriebene Geräte; Nutzung von alternativen Energien; Reduktion der VOC-Emission von Geräten; Forschung zur End-of-Life-Phase; Effizienzsteigerung bei Fertigungsprozessen
Design for Environment	Entwicklung umweltfreundlicher Produkte um Faktor 10	Entwicklung von DfE-Methoden; Entwicklung allgemeingültiger Materialdeklarationen; Datenbeschaffung u. -austausch für ein besseres LCA
Umweltmanagement	Etablierung eines vollständigen Umweltmanagementsystems; Umweltbilanzierung	Forschung zu alternativen Verkaufskonzepten (Verkauf von Funktionen und Dienstleistungen anstelle von Produkten); Umweltorientiertes Supply Chain Management; Eco Labelling
Tabelle 7: Umweltzielstellung und -maßnahmen der HDIUG		

***Prismark Partners LLC: The Electronics Industry Report 2001 und Semiconductor and Packaging Report 2000***

Prismark Partners LLC ist ein Consulting-Unternehmen, das über 100 der weltweit führenden Elektronikhersteller zu ihren Kunden zählt. Jährlich veröffentlicht Prismark Partners LLC diverse Technologieberichte, die Trends in der Elektronikindustrie aufzeigen. Der Electronics Industry Report 2001 und Semiconductor and Packaging Report geben einen umfassenden Ausblick über Produkt-, Markt- und Technologieentwicklungen der Elektronikbranche und können als Roadmap für die Industrie gewertet werden.

Die Halbleiterindustrie wächst trotz zyklischer Schwankungen um etwa 14% pro Jahr. Die Aufbau- und Verbindungstechnik (packaging) ist ein wesentlicher Bestandteil der Halbleitertechnologie, der weiter an Bedeutung gewinnen wird. Derzeit vollzieht sich in der Chipverbindungstechnik der Übergang vom traditionellen Wire Bonding hin zur „Flip Chip“ - und CSP-Technologie. Der Zuwachs dieser neuen Technologien wird in den kommenden fünf bis

zehn Jahren eine Steigerungsrate von 40 bis 70% haben. Die Opto-Elektronik wird ebenfalls stärker als bisher wachsen.

Die Realisierung hoch dichter Verdrahtungsstrukturen steht im Vordergrund. Diese sind durch mehr als 200 Anschlüsse (Pads/cm<sup>2</sup>) charakterisiert. Durch diese Anschlussdichte werden Mikrolöcher (microvias) mit einem Durchmesser kleiner 200µm und Leiterbahnbreiten kleiner 80µm erforderlich. Damit wird auch die Anwendung dünnerer Lamine zwingend. Die Durchkontaktierung wird gegenwärtig mittels Cu-Durchplattierung erreicht. Neue Verfahren sind Silberleitkleber. Die Entscheidungskriterien für die Anwendung neuer Verfahren sind erreichbare Stromtragfähigkeit und Zuverlässigkeit bei Langzeitbeanspruchung derartiger Mikrobohrungen. Entsprechend des sequentiellen Aufbaus wird diese Leiterplattentechnologie als SBU (Sequential Build Up Technology) bezeichnet.

Der Trend zu kleineren, flexibleren und leistungsfähigeren Baugruppen ist an neue Verbindungs- und Packaging-Technologien gebunden. Dünnere Materialien und die Integration einzelner Bauelemente in die Leiterplatte bringen nicht nur eine Rohstoffeinsparung, sondern werden auch die Prozesstechnik nachhaltig verändern. Bezüglich eines zunehmend geforderten Umweltschutzes wird die Baugruppenfertigung auf bleifreie und halogenfreie Verfahren umgestellt werden. Die Schadstoffentfrachtung von Produkten soll mittels neuer Materialien erreicht werden. Um Übertragungs- und Energieverluste in der Nutzungsphase zu minimieren, müssen Anschlüsse und Schaltteile optimiert werden. Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt, der indirekt eine Umweltentlastung zur Folge hat, ist eine in den Fertigungsprozess integrierte Qualitätskontrolle.

### 5.3.3 Japan<sup>47</sup>

#### ***Roadmaps der Japanischen Industrie im Bereich der umweltfreundlichen Gestaltung von elektronischen Produkten***

Alle führenden Elektro- und Elektronikhersteller in Japan haben in den letzten Jahren komplexe Überlegungen zur Verbesserung ihres Umweltmanagements angestellt und ihre Ziele in Umweltschutz-Satzungen (Environmental Protection Charter) manifestiert.

Ein Zeichen dieser grundsätzlichen Orientierung hinsichtlich eines verbesserten Umweltschutzes ist die sehr hohe Anzahl von ISO 14001 Zertifikaten in der japanischen Elektronikbranche. Diese Aktivitäten können als eine langfristig angelegte Vorbereitungsphase auf künftige gesetzgeberische Anforderungen als auch auf stärker ökologieorientierte Märkte interpretiert werden. Dieser

---

<sup>47</sup> Bei der Erhebung der internationalen Entwicklungen wurde auf einen Unterauftrag an Prof. Tadatomo Suga, University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology, RCAST; Koordinator mehrerer vom MITI geförderten umweltbezogener Elektronikprojekte in Japan und beteiligt an der Erstellung der *Environmental Roadmap* der Japanese Electronics Industry Association (JEIDA) zurückgegriffen.

Trend lässt sich anschaulich aus zunehmenden Aktivitäten im Bereich des Roadmappings einzelner Unternehmen und der japanischen Industrieverbände ableiten.

### ***JIEP: Roadmap of Environmentally Friendly Packaging Technology 1999***

Diese Roadmap wurde im Juni 1999 als Bestandteil der „Electronic Packaging Technology Roadmap for the Year 2010“ vom *Japan Institute of Electronic Packaging* (JIEP) veröffentlicht. Sie beschreibt die grundsätzlichen Tendenzen zukünftiger umweltgerechter Verbindungstechnologien und hebt vier Schwerpunktbereiche hervor:

- Reduce / Repair / ReUse / Recycling Konzepte (1998 – 2010)
- Reduzierung und Vermeidung gefährlicher Substanzen (1998 - 2005)
- Umweltmanagement (ab 1998)
- Montage- und Demontagetchnologien (ab 1998)

#### *Reduce / Repair / ReUse / Recycling Konzepte*

Das Ziel der Umsetzung einer umweltfreundlichen Verbindungstechnologie sollte nicht nur auf den unmittelbaren Herstellungsprozess beschränkt sein. Die gesamte Produktlebensphase muss in ein solches Konzept eingebunden werden. Vermeidungs-, Weiterverwertungs- und Recyclingstrategien spielen daher eine große Rolle bereits in der Planungs- und Produktentwicklungsphase. Hinsichtlich der Verbindungstechnik werden in der Roadmap folgende vier Aspekte hervorgehoben:

- ReUse kompletter Leiterplatten
- ReUse funktioneller Baugruppen
- ReUse einzelner Komponenten aus Baugruppen
- Recycling von Materialien

Die Wieder- bzw. Weiterverwendung sowie das Recycling von Leiterplatten, Baugruppen, Komponenten und Materialien verlangt die Entwicklung funktioneller Separationskonzepte, die eine schnelle, weitgehend zerstörungsfreie Demontage ermöglichen. Aktive Demontage und *Smart Materials* sind Stichworte in diesem Zusammenhang. Dieser Prozess wird sich im ersten Stadium vorrangig auf das Material-Recycling konzentrieren und langsam zu Wiederverwendungskonzepten und damit einhergehenden aktiven Demontagetchnologien verlagern.

Ein weiterer Aspekt ist die Reduzierung bzw. völlige Vermeidung des Einsatzes gefährlicher Substanzen in der Produktion als auch im Produkt. Hierfür wird eine genaue Abschätzung der Umweltgefährdung durch diese Substanzen im Prozess der Herstellung, Nutzung und Entsorgung notwendig.

#### *Bleifreie Elektronik*

Die Substitution von Blei muss in zwei Bereichen erzielt werden:

- bleifreie Ersatzstoffe bezüglich des Gebrauchs in Bauteilen
- bleifreie Ersatzstoffe bezüglich von Loten in der Verbindungstechnik

Die Entwicklung und Nutzung bleifreier Lote nimmt in Japan seit 1998 stetig zu und wird als Standard für neue Produkte bis 2003 erwartet. Der Verzicht von Blei in Bauteilen wird sich zwischen 2003 und 2005 durchsetzen. Bedeutende Anstrengungen im Bereich der gezielten Rückgewinnung und des Recycling von bleihaltigen Verbindungen aus Elektronik-Altgeräten werden ab 2001 erwartet. Konventionelle Lote werden allerdings auch bis weit über das Jahr 2005 hinaus als Ausnahme zum Einsatz kommen, sollte nicht vorher ein Verbot von Blei seitens der Gesetzgeber erfolgen (JIEP Bleifrei Roadmap, Suga p.15).

Ob Bonding-Techniken auf der Basis von Polymeren in der Zukunft eine Alternative zur Löttechnik werden, ist zurzeit ungewiss.

#### *VOC-kompatible Verbindungstechnologien*

VOC (Volatile Organic Compounds) sind chemische Substanzen, die maßgeblich für die globale Erwärmung und sauren Regen verantwortlich sind. Eine Reduzierung von photochemischen Oxidationsmitteln in elektronischen Materialien und organischen Lösungsmitteln, die in der Herstellung zum Einsatz kommen, wird verstärkt angestrebt. Fortschritte in den folgenden Bereichen werden bis zum Jahr 2005 erwartet:

- Vermeidung von VOC-haltigen Flussmitteln und Lötpasten durch Einsatz neuer lösungsmittelfreier (wasserlöslicher) Ersatzstoffe
- Vermeidung von Reinigungsprozessen durch Entwicklung neuer Verfahren oder Reinigung mittels Wasser
- Vermeidung von Lötprozessen durch neue Verbindungstechniken (SMT) und Chip-Design (BGA, CSP und FC)
- Verbesserung des Umgangs mit Lösungsmitteln durch unmittelbares Auffangen der VOC-haltigen Stoffe am Ort der Nutzung und Verbesserung von Verbrennungstechnologien

#### ***JEIDA: Roadmap of Lead-free Soldering 1998***

Im Februar 1998 veröffentlichte die Japan Electronic Industry Development Association (JEIDA) eine erste Roadmap zum Thema bleifreies Löten.

Diese Roadmap regte die führenden japanischen Elektronikhersteller Hitachi, Matsushita und Toshiba zu einer vollständigen Annahme des „Bleifrei-Gedanken“ an. Bis zum heutigen Tag haben die meisten japanischen Elektronik-, Bauelemente- und LötHersteller eine eigene Firmenstrategie für die Ablösung von Blei erarbeitet und veröffentlicht. Die Entwicklung und Umsetzung bleifreier Elektronikprodukte ist seit 1998 im vollem Gange. Das japanische Industrieministerium MITI (heute METI) förderte mehrere nationale For-

schungsvorhaben zu diesem Zweck, an dem sich die wichtigsten Hersteller und akademischen Einrichtungen beteiligten. Ziel dieser Vorhaben ist es, bleifreie Lote zu entwickeln und in die Massenproduktion zu integrieren, sowie Standards zur Überprüfung ihrer Zuverlässigkeit zu ermitteln.

Die in Japan favorisierten Legierungen werden in der aktuellsten Version der Bleifrei-Roadmap vom August 2000 aufgelistet (Fig. 2-6, Suga p.16).

Ein großes Problem hinsichtlich einer schnellen kommerziellen Einführung bleifreier Lote ist die ungeklärte Patentlage. Überschneidende Patente und Fragen der Patentnutzung haben zu einer rechtlichen Auseinandersetzung zwischen Japan und den USA geführt. Japan spricht sich für eine Nutzungsfreigabe von Patenten aus (bei entsprechender Zahlung von Royalties), um eine rasche Ablösung von Blei zu vollziehen, sieht aber in der abweisenden Haltung der USA eine Tendenz, die Patente als strategische Waffe zu nutzen, um diesen Trend zu verzögern. Deshalb sieht die japanische Industrie ein internationales Abkommen zur Standardisierung bleifreier Lote als maßgebliche Aufgabe an. Die JEIDA befürwortet in ihrer Roadmap eine Standard-Legierung auf der Basis Sn-Ag-Bi-Cu mit 3% Ag und 0,5% Cu.

- Bleifrei-Roadmap JEIDA 1999 (Suga p.17)

### ***Union of EcoDesigners***

Die Gründung der Union of EcoDesigners geht auf Anraten des Science Councils of Japan zurück mit dem Ziel, die Zusammenarbeit zwischen mehreren EcoDesign-Institutionen zu koordinieren. Hierzu gehören das von der Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI) organisierte EcoDesign-Symposium (1999/2000) und das Inverse Manufacturing Forum (seit 1997), welches vom Manufacturing Science and Technology Center (MSTC) initiiert wurde. Bis heute haben sich etwa 50 akademische Gesellschaften und die führenden Industrieverbände der japanischen Elektronikbranche in der sogenannten Union of EcoDesigners zusammengeschlossen. Eine internationale Zusammenarbeit wird angestrebt.