

Wolfgang Beitz

1.2 Bedeutung umweltgerechter Produktion

1.2.1 Umweltgerechte Produktion als Bestandteil einer integrierten Umwelttechnik

Umweltschutz bedeutet die Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbelastungen. Ein integrierter Umweltschutz entsteht durch eine produkt-, prozeß- und produktionsorientierte Umwelttechnik (IU), die folgende Maßnahmen integriert [12, 15]:

- Sparsamer Umgang mit Ressourcen (Energie und Stoffe) in Produktionsprozessen und beim Produktgebrauch,
- Verlustwärmenutzung,
- Kreislaufführung durch produktionsinternes (primäres) Recycling,
- Wo möglich, Verzicht auf additive Umwelttechnik,
- Substitution umweltschädlicher Einsatzstoffe,
- Umweltverträgliche Produkteigenschaften für Herstellung, Gebrauch und Recycling/Beseitigung sowie
- Recyclierbarkeit zur Rückgewinnung von Ressourcen, bzw. wo diese nicht möglich ist, Beseitigungsfähigkeit unvermeidbarer Abfälle.

Umweltgerechte Produktion (Produktentwicklung und -herstellung) enthält hierbei eine präventive (vorsorgende) Zielsetzung. Diese strebt an, dem integrierten Umweltschutz dienende Maßnahmen bereits beim Produktentstehungsprozeß, und bei diesem insbesondere in den frühen Phasen "Produktplanung, -entwicklung und -konstruktion" vorausdenkend vorzusehen. Die Vermeidung und Verminderung von

Umweltbelastungen durch vorsorgende Maßnahmen, sei es durch geplante Produkt- und Materialkreisläufe mit möglichst kurzen Transportwegen, sei es durch "Additive Umwelttechnik" bei Produktionsprozessen und während der Produktnutzung stehen dabei gegenüber der nachsorgenden Umwelttechnik zur Beseitigung von Umweltbelastungen im Vordergrund, wenn auch letztere industrie- bzw. beschäftigungswirksam sein kann.

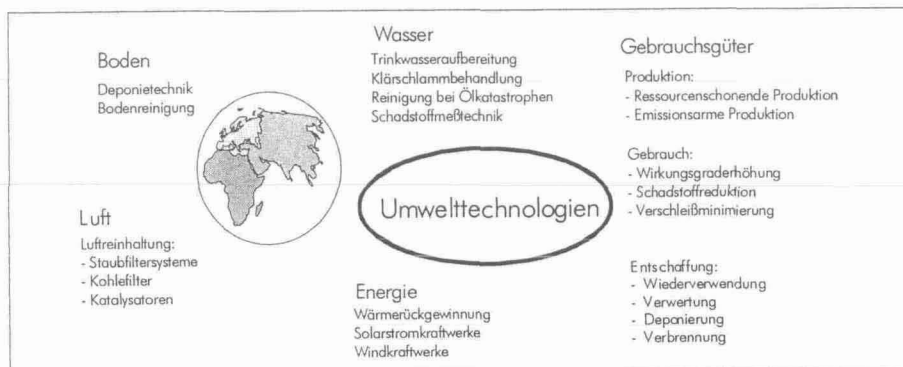


Abbildung 1.2-1
Bereiche der Umwelttechnologien

Umwelttechnologien erstrecken sich gemäß Abbildung 1.2-1 auf die Bereiche Boden, Wasser, Luft und Energie sowie auf Gebrauchsgüter und sind damit als Querschnittsaufgabe zu betrachten. Letzterer Bereich soll entsprechend der Zielsetzung der Arbeitsgruppe im Vordergrund stehen. Es geht also um die Darstellung und Analyse technischer Möglichkeiten und deren wirtschaftlichen Konsequenzen zur umweltschonenden Produktion (Planung, Entwicklung, Konstruktion, Herstellung) und zum umweltschonenden Gebrauch technischer Gebrauchsgüter sowie zur Rückgewinnung der mit ihnen gebundenen Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen.

Letztere Kreisläufe bedeuten einen besonderen Schwerpunkt und eine Herausforderung des Umweltschutzes, da die Nutzungsdauer technischer Gebrauchsgüter entsprechend Abbildung 1.2-2 begrenzt ist und die bisherigen Entsorgungswege wegen begrenzter Deponiemöglichkeiten (Kosten, Kapazitäten, Gefährdungspotentiale durch Schadstoffe) sowie zunehmende Ressourcenknappheit nicht mehr hinnehmbar sind.

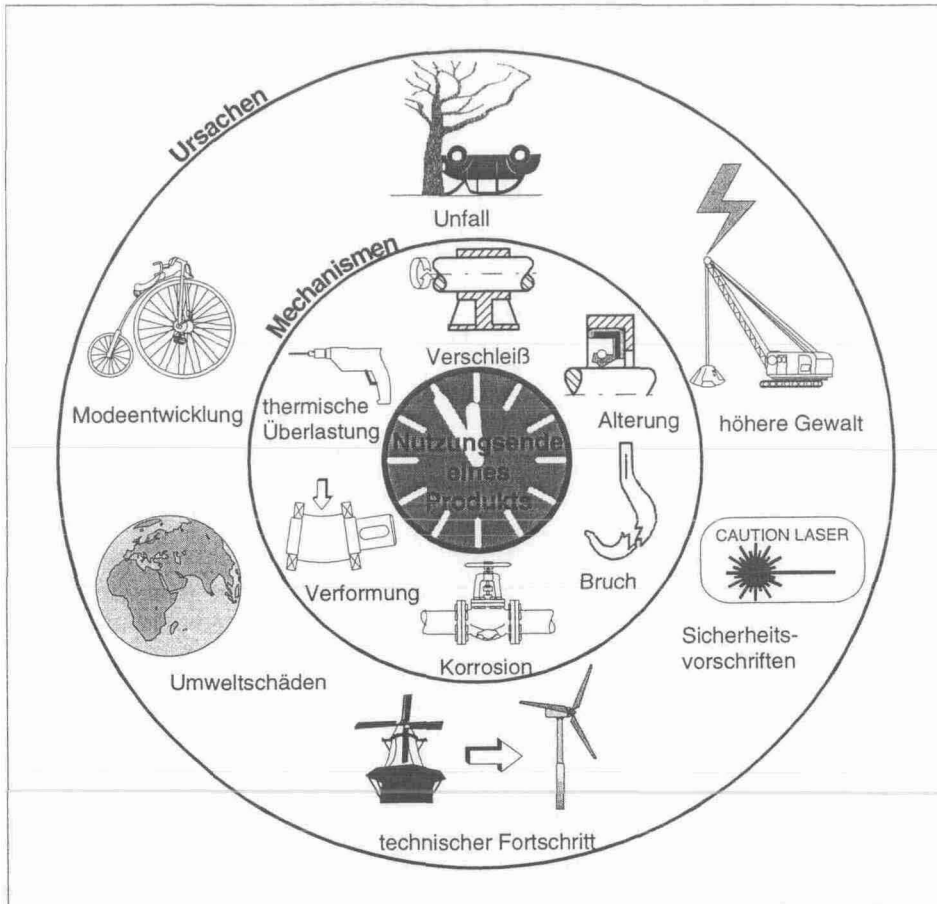


Abbildung 1.2-2

Ursachen und Mechanismen einer begrenzten Nutzungsdauer technischer Produkte [4]

1.2.2 Möglichkeiten umweltgerechter Produktion

Zur umweltgerechten Produktion soll im folgenden der gesamte Produktlebenszyklus ganzheitlich betrachtet werden, da dieser bei der Zielsetzung der Prävention bereits in den frühen Phasen festgelegt werden muß. Das bedeutet z.B., daß Recy-

clingingtechnologien bereits durch die Konstruktion der Produkte vorbestimmt sind, obwohl sie erst nach dem Produktnutzungsende, das oft ein oder mehrere Jahrzehnte hinter der Produktherstellung liegt, zum Einsatz kommen. In dieser Zeitspanne liegt auch die Problematik einer recyclinggerechten Konstruktion.

Bereiche bzw. Maßnahmenansätze umweltgerechter Produktion sind demnach:

- Umweltgerechter Produktaufbau (Werkstoff- und Baustruktur) zur Anwendbarkeit umweltschonender Herstellungstechnologien (Teilefertigung und Montage) und effizienter (umweltschonender und wirtschaftlicher) Technologien des Produkt- und Materialrecyclings,
- Leistungsfähige Recyclingtechnologien, entsprechende Unternehmen der sog. Umweltwirtschaft und logistische Systeme zum Material- und Produktfluß sowie
- Bewertungsinstrumentarium zur Auswahl zweckmäßiger Recycling- oder Beseitigungsstrategien.

Recycling ist im Hinblick auf die umweltgerechte Produktion nur dann wirklich sinnvoll, wenn nachteilige Folgen für die Ressourcen Boden, Wasser und Luft vermieden werden können. In der Praxis ist dieses Prinzip häufig nicht realisiert. Umweltauswirkungen durch Recycling, z.B. durch Verbrauch von Trinkwasser zu Reinigungszwecken, Energiegebrauch zur Reinigung von Abwasser, Energieverbrauch zum Trocknen naßgereinigter Reststoffe finden zu wenig Berücksichtigung. Die Strategie des Recycling ist neben der Vermeidungsstrategie zwar stets in Erwägung zu ziehen, nicht jedoch "um jeden Preis".

1.2.2.1 Umweltgerechter Produktaufbau

Ein Produktaufbau zur Anwendbarkeit ressourcenschonender (material- und energiesparender) und emissionsarmer Fertigungs- und Montageverfahren ist eine traditionelle Zielsetzung der Konstruktions- und Produktionstechnik, da diese in der Regel auch wirtschaftlich ist. Naturgemäß stößt diese aber an technische Grenzen, so daß zusätzlich Maßnahmen des Energie- und Materialrecyclings (Produktionsabfall-Recyclings) sowie zur Vermeidung sonstiger Umweltbelastungen eingesetzt werden müssen (Additive Umwelttechnik). Insgesamt erscheint dieser Bereich aber nicht problematisch, da Konstruktion und Fertigung in der Regel unter einer Unternehmensverantwortung stehen und die Fertigungs- und Montagetechnologien hochentwickelt sind. Allerdings bedeutet die Integration zusätzlicher Umweltschutzanlagen in den Produktionsprozeß in der Regel höhere Kosten und ein Absin-

ken der Produktivität. Deshalb sollte man durch den Produktaufbau möglichst umweltschutzorientierte Zusatzmaßnahmen vermeiden.

Problematischer ist ein vorsorgender Produktaufbau, der ein späteres Produkt- und Materialrecycling vereinfacht oder sogar erst ermöglicht:

Produktrecycling (Wieder- oder Weiterverwendung eines Produkts nach einer Nutzungsphase und einer zwischengeschalteten Aufarbeitung geschädigter Bauteile) bedeutet, das Produkt demontage-, reinigungs-, prüfungs-, austausch-, nacharbeitungs- und wiedermontagegerecht zu gestalten. Hierzu werden zwei Strategien praktiziert: Die eine besteht in der Beibehaltung der Identität des genutzten Produkts (Altprodukts), d.h. beim Auswechseln und Nacharbeiten von Teilen wird deren Zuordnung belassen und deren Toleranzen aufeinander abgestimmt. Diese Vorgehensweise entspricht also mehr einer Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Instandsetzung). Die andere Strategie besteht in der vollständigen Auflösung des Altprodukts derart, daß alle Teile hinsichtlich ihrer Toleranzen wie Neuteile behandelt werden. Dadurch ergibt sich, daß bei der Wiedermontage nachgearbeitete Altteile und Neuteile wie bei einer Neufertigung kombiniert werden. Dieser industriellgerechten Vorgehensweise gehört die Zukunft, da die Fertigungs- und Montageeinrichtungen der Neufertigung genutzt werden können.

Das Produktrecycling ist ein Recycling auf hohem Wertniveau, da es weitgehend die für die Teilefertigung eingesetzten Energien sowie die Material- und Lohnkosten rettet. Insofern ist es anzustreben. Anwendungsgrenzen entstehen aber einerseits durch die Notwendigkeit zu technologischen Erneuerungen, d.h. zu begrenzten Produktnutzungszeiträumen, andererseits durch Akzeptanzprobleme, die zumindest bisher dadurch entstehen, daß man aufgearbeitete Produkte, Baugruppen oder Bauteile nicht Neuprodukten hinsichtlich ihrer Qualität gleichsetzt.

Materialrecycling (Wieder- und Weiterverwertung von Altprodukten bzw. Altstoffen nach einem Aufbereitungsprozeß) bedeutet, die Werkstoff- und Baustruktur des Produkts so festzulegen, daß die Altstoffe mit hoher Qualität wirtschaftlich wiederverwertet werden können. Für den Produktaufbau ist deshalb anzustreben, daß Baugruppen und Bauteile in verwertungsverträgliche Einheiten demontiert oder zerstörend zerlegt werden können. Dabei hängt es von der Leistungsfähigkeit der Verwertungstechnologien ab, ob eine sortenreine Zerlegung notwendig ist oder ob Mischwerkstoffe zugelassen werden können.

Das Materialrecycling wird wohl auch in Zukunft die wichtigste Recyclingstrategie sein, da das Produktrecycling die genannten Grenzen hat.

1.2.2.2 Recyclingtechnologien

Die für das Produktrecycling erforderlichen Aufarbeitungstechnologien entsprechen im wesentlichen der bekannten Fertigungs- und Montagetechnik. Speziell ist lediglich eine wirtschaftliche Demontagetechnik.

Für das Materialrecycling ist ein Trennen und Zerkleinern der Produkte sowie ein Sortieren und Kompaktieren der Altteile zu verwertungsfähigen bzw. verwertungsgünstigen Einheiten erforderlich.

Neben den Aufarbeitungs- und Aufbereitungstechnologien ist es notwendig, durch leistungsfähige Logistik- und Transportsysteme eine umweltschonende Sammlung der Altprodukte und Altstoffe sowie deren Zuführung zu Aufarbeitungs- und Aufbereitungsunternehmen zu erreichen. Das Realisieren von Produkt- und Materialkreisläufen ist deshalb nicht nur ein technologisches, sondern vor allem auch ein logistisches (zentral, dezentral, regional, überregional, global) Problem.

1.2.3 Erkenntnis- und Anwendungsstand

Der Umweltschutz bei der Produktion technischer Gebrauchsgüter erfolgte bis vor wenigen Jahren während der Produktherstellung praktisch ausschließlich durch Additive Umwelttechnik, d.h. der vorwiegend auf den traditionellen Produktmerkmalen Funktionserfüllung, Sicherheit und Kosten beruhende Produktaufbau wurde als gegeben betrachtet und die vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Umweltschutzaufgaben durch entsprechende Zusatzmaßnahmen in der Fertigung erfüllt. Da diese Auflagen immer schärfer geworden sind, fand und findet eine laufende Weiterentwicklung und Verbesserung der additiven Umwelttechnologien statt.

Bei der nachsorgenden Umwelttechnik, insbesondere beim Recycling von Altprodukten der Großserienindustrie (Kraftfahrzeuge, Haushaltsgroßmaschinen) stand und steht mit der Shreddertechnologie einschließlich nachgeschalteter Sortier- und Separierverfahren eine Technologie zur Verfügung, die eine qualitativ hochwertige Wiederverwertung der metallischen Werkstoffe ermöglicht [1, 2], während nichtmetallische Altstoffe, insbesondere Kunststoffabfälle, noch unbefriedigend wiederverwertbar sind. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf [8, 10].

1.2.3.1 Analyse verschiedener Industriezweige

Um einen groben Überblick über die Verwertungsaktivitäten in Deutschland zu erhalten, wurden sechs repräsentative Betriebe ausgewählt und analysiert. Zunächst waren reine Verwerterbetriebe zu untersuchen, welche sich auf bestimmte Recy-

clingverfahren spezialisiert haben und diese als Dienstleistung anbieten. Dazu zählten Metallrecycling am Beispiel eines Shredders, Kunststoffaufbereitung von PVC und DSD-Kunststoffabfall sowie Elektronikschrottreycling. Auf der anderen Seite wurden zwei Unternehmen betrachtet, welche selbst in Form von Pilotprojekten Recyclingaktivitäten starteten, um ihre eigenen Produkte zu verwerten. Untersucht wurde der Automobilbereich und aus dem Elektronikschrottsegment ein Elektrowerkzeughersteller. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 1.2-3 dargestellt. Dem jeweiligen Unternehmen zugesandte Fragenlisten wurden bei einem Besuch vor Ort diskutiert.

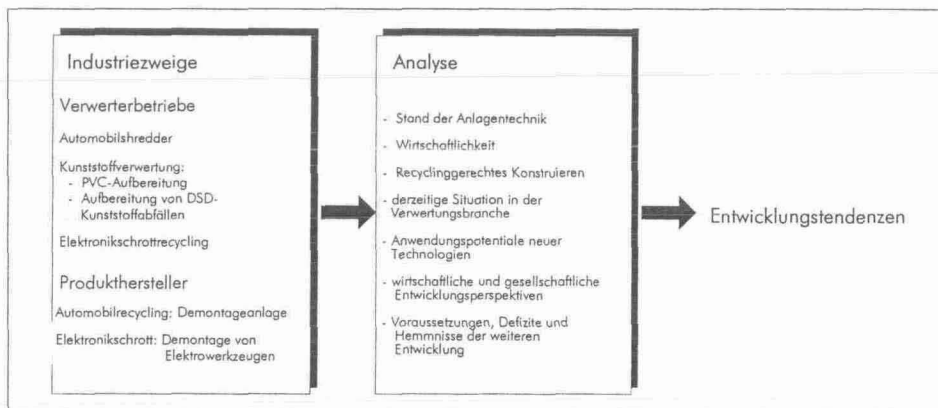


Abbildung 1.2-3
Untersuchte Industriezweige

1.2.3.2 Metallschrottaufbereitung: Moderner Automobilshredder

In den besichtigten Anlagen werden Metallschrott und Produkte, die überwiegend aus Metall bestehen, verwertet. Altautos müssen frei von Betriebsstoffen sein, gelangen dann aber komplett in den Shredder, wo sie in etwa faustgroße Teile zerschlagen werden. Über eine anschließende Windsichtung erfolgt die Abscheidung des Shredderleichtmülls, der immerhin 30 % des Gesamtgewichts ausmacht und der anschließend in geeigneten Anlagen verbrannt wird, möglichst zur Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie. Aus der Metallfraktion lassen sich mittels einer Magnettrommel die Eisenwerkstoffe heraustrennen, ausgenommen hochlegierte

Werkstoffe. Diese haben einen Reinheitsgrad von ca. 99,5 % und lassen sich gut verkaufen. Dazu ist es allerdings erforderlich, durch Handsortierung Verbundteile, wie Elektromotoren, vom Band zu separieren. Das restliche Metallgemisch bedarf noch einer geeigneten Trennung, die zur Zeit noch nicht vorhanden, aber geplant ist. Für die Altautos, die frei von Betriebsstoffen sein müssen, braucht der Anlieferer nichts zu bezahlen.

Der Shredder läuft etwa 10 Stunden am Tag und ist gut ausgelastet (35 t Schrott in der Stunde). Die Anlieferung des Schrotts erfolgt durch kleinere Autoverwerter oder, im Fall des sonstigen Schrotts, durch die bereits erwähnten eigenen Container. In geringem Umfang liefern auch Privatpersonen Schrott ab. Die separierten Materialien, vor allem der Stahlschrott, werden weltweit verkauft. Besonders der zu Brikketts gepresste Schrott aus der Multifunktionsanlage gelangt über einen eigenen Hafen und ein Zwischenlager in Holland bis nach Taiwan.

Auch in Zukunft bleibt der Shredder nach Einschätzung des Unternehmens ein unverzichtbares Werkzeug zur Zerkleinerung komplexer Altprodukte. Allerdings ist es denkbar, für verschiedene Produktabmessungen spezielle Shredder zu entwickeln, um die Feinheit der Zerkleinerung optimieren zu können. Genereller Entwicklungsbedarf besteht bei der Sortierung des zerkleinerten Schrotts.

Ähnlich wie in der produzierenden Industrie geht auch bei den Verwertern der Trend zu internationalen Verflechtungen. Auch beim Arbeitskräftebedarf ist eher eine Verringerung zu erwarten, da beispielsweise heutige manuelle Sortierarbeiten in absehbarer Zukunft durch verfahrenstechnische Lösungen ersetzt werden.

Ein Problem fast der gesamten Umwelt- und speziell der Entsorgungstechnik ist die Akzeptanz in der Bevölkerung. Shredderanlagen sind sehr laut und bedingt durch die Windsichtung des Schrotts auch problematisch hinsichtlich der Abluft. Um hierbei sowohl genehmigungsrechtlich als auch durch den Betrieb der Anlage nicht in Schwierigkeiten zu kommen, sind bei solchen Projekten hohe Aufwendungen für Umweltschutzmaßnahmen erforderlich. Speziell bei diesem Unternehmen betragen diese Aufwendungen 2/3 des gesamten Investitionsvolumens.

1.2.3.3 Kunststoffverwertung: PVC-Aufbereitung

Seit November 1993 ist das besuchte Werk bei Eisenach in Betrieb. Hier werden PVC-Produktionsabfälle, Altstoffe und nicht verkaufte neue, sowie alte Fenster verwertet. Der Anteil an Fenstern liegt bei etwa 5 %. Die angelieferten Produkte werden in die Fraktionen PVC, Glas, Metall und Gummi separiert. Das PVC wird zu Granulat aufbereitet.

Das angelieferte Material wird in einem Shredder zerkleinert. Dieser ist vom Aufbau identisch mit einem modernen Automobilshredder, lediglich die Hämmer sind etwas kleiner ausgeführt.

Das zerkleinerte Gut wird mittels Trommelmagnetschneider von eisenhaltigen Teilen befreit. Auf Schwingtischen werden restliche Metallteile und Gummi separiert. Mittels Sichtung (Luftsetztische) wird Glas vom PVC getrennt.

Das anschließend gewaschene und getrocknete PVC wird nun farbsortiert. Dies geschieht mit optischen Sensoren, welche weiße von farbigen Partikeln unterscheiden. Die weißen Teilchen werden mittels Druckluft aussortiert, extrudiert und granuliert. Das erhaltene Granulat ist nach Angabe des Betriebes zu 100 % sortenrein.

In der Anlage sind 20 Mitarbeiter beschäftigt. Die Kapazität des Shredders beträgt 36 t/h. Die Restabfallmenge beläuft sich auf 2,5 % (Stäube, Abfall), so daß ein Wiederverwertungsgrad der Werkstoffe von 97,5 % erzielbar ist.

Ein Entweichen von HCL war bei Besichtigung der laufenden Anlage nicht wahrnehmbar. Aufwendige Filtersysteme halten anfallenden Staub zurück, wobei der Staubanteil bei etwa 1 % weit unter dem Wert liegt, der beim Shreddern von Automobilen entsteht.

Das aussortierte Fensterglas wird an Glashersteller geliefert, das eisenhaltige Metall als Stahlschrott vermarktet. Der Entsorgungsweg für Gummi ist zur Zeit die Deponie.

Gewonnenes PVC-Granulat wird als Sekundärwerkstoff vertrieben. Besonders das weiße PVC ist gut absetzbar. Die Fertigung neuer Fensterprofile aus 100 % Regranulat ist mit ein- bis zweimaligem Durchlauf möglich, jedoch aus optischen Gründen bei Fensterprofilen nicht realisierbar. Hier wird Regranulat mittels Coextrusion mitverarbeitet, wobei Neuware für die optisch relevanten Bereiche eingesetzt wird.

1.2.3.4 Kunststoffrecycling: Aufbereitung von DS-Kunststoffabfällen

Im Recyclingzentrum in Eisenhüttenstadt werden Kunststoffabfälle aus Sammlungen des DSD seit Anfang 1993 verwertet. Die gewonnenen, sortenreinen Granulate werden vertrieben, Produktdatenblätter liegen vor. Die Anlage gliedert sich in drei Aufbereitungslinien und zwar für Hohlkörper, Becher/Blister und Folien. Die Anlagenkapazität ist für 21.000 t/a ausgelegt. Der Anteil an Produktionsrückständen beträgt etwa 10 % der Gesamteinsatzmenge und wird derzeit deponiert.

Wesentliche Verfahrensschritte sind:

- Vorsortierung von Hand,
- Folien: Zerkleinerung im Shredder, Naßzerkleinerung in Folienmühle,

- Hohlkörper, Becher, Blister: Naßvermahlen in einer Mühle,
- Schwimm-Sink-Trennung: Bei den anfallenden Kunststoffen genügt es nach Dichte größer/kleiner 1 zu separieren,
- Vortrocknung,
- Folien: Folienmühle,
- mechanische und thermische Trocknung sowie
- Verarbeitung zu Granulat mittels Extruder und Heißabschlag.

Die Trocknung wird durch die nassen Trenn- und Zerkleinerungsprozesse erforderlich, was nicht gerade umweltgerecht ist.

Als Sekundärwerkstoffe werden folgende 5 Granulate angeboten:

- recythere HD (HDPE), Ausgangsmaterial: Hohlkörper, Farbe: grau-blau,
- recythere PP (PP), Ausgangsmaterial: Becher, Farbe: grau-beige,
- recythere LD (LDPE), Ausgangsmaterial: Folien, Farbe: naturell,
- recythere LD (LDPE), Ausgangsmaterial: Folien, Farbe: bunt und
- PS, Ausgangsmaterial: Becher/Blister.

Produktdatenblätter liefern folgende Kennwerte: Farbe, Granulatform, Dichte, MFI, Schüttgewicht, Zugdehnung, Reißdehnung, Zugfestigkeit sowie Empfehlungen für Verarbeitungstemperaturen. Auf Wunsch werden die vertriebenen Granulate chargenrein geprüft.

Das Unternehmen fertigt aus dem produzierten Granulat den "Gelben Sack", Säcke für Gartenabfälle, Mülltonnen, Transportkästen und andere Entsorgungsbehältnisse. Für Mülltonnendeckel kann aus Gründen der komplexen Geometrie (Hinterschneidungen) nur Neuware verspritzt werden. Mit der Anlage zur Folienschlaucherzeugung sind derzeit nur Folien von größer 120 µm Stärke herstellbar, für die künftige Produktion von Gelben Säcken ist jedoch eine Stärke von 80 µm erforderlich.

Neben der unternehmensinternen Fertigung von Produkten aus Sekundärmaterial werden die vermarkteten Regranulate für Behälter, Kabelkanäle, Rohre etc. eingesetzt. Probleme bereitet hier noch die Zertifizierung der Sekundärwerkstoffe für bestimmte Anwendungsbereiche.

Das Recyclingzentrum finanziert sich aus den Einnahmen des DSD sowie dem Verkauf von Granulaten und Fertigprodukten, wobei der Hauptanteil bei ersterem liegt.

Die Vermarktung der Regranulate wird beeinträchtigt durch das eher geringe Mengengerüst, resultierend aus der ungenügenden Auslastung der Anlage. Darüber hinaus weist die Vertriebsstrategie des Unternehmens noch Schwächen auf: Dem Produktentwickler müssen stärker die Möglichkeiten und vor allem die Existenz von spezifizierten Sekundärwerkstoffgranulaten zugänglich gemacht werden.

1.2.3.5 *Elektronikschrottreycling*

Viele große Energieversorgungs-Unternehmen haben in jüngster Zeit das Entsorgungsgeschäft für sich entdeckt. Mit teilweise sehr hohem Investitionsvolumen entstanden große Recyclingzentren, die meistens auf Elektronikschrott spezialisiert sind. Eine solche Anlage wurde in Brunsbüttel errichtet (Gesamtvolumen ca. 30 Mio. DM), der eine Pilotfunktion für Deutschland zukommt.

Das Recyclingzentrum befindet sich im Industriegebiet von Brunsbüttel und ist in einer neu errichteten Halle zusammengefaßt. In fünf verschiedenen Linien werden die unterschiedlichsten Formen des Elektronikschrotts verarbeitet, ausgenommen Ölradiatoren, Leuchtstoffröhren und Kühlschränke. Ausschließlich für Fernsehgeräte ist eine manuelle Vordemontage vorgesehen, in erster Linie um Bildröhren und Schadstoffe wie PCB-haltige Kondensatoren zu separieren. Hierzu werden gängige Werkzeuge wie Schrauber, Hammer oder Zangen verwendet. Ein gewisser Schwerpunkt liegt auf Leiterplatten- und Platinschrott, aus dem die Edelmetallanteile soweit wie möglich separiert werden. Die entsprechende Linie ist daher aufwendig konzipiert und hat insgesamt 13 Ausgänge für die einzelnen Fraktionen.

Die Anlage setzt sich aus 5 Verfahrenslinien zusammen, und zwar für die Fraktionen Leiterplatten, Metallgehäuse, Kunststoffgehäuse, Kabel und Bildröhren. Nach einer Schadstoffentfrachtung der Produkte werden die entsprechenden Fraktionen der jeweiligen Verfahrenslinie zugeordnet. Eine Separation nach Produkten erfolgt daher nicht. Nicht demontierte Geräte werden bestimmten Fraktionen direkt zugeordnet, z.B. werden Kleingeräte der Kabellinie zugeführt. Bei manchen angelieferten Geräten sind Art der Schadstoffe sowie Gehalt nicht bekannt.

Die Werkstofftrennung erfolgt ausschließlich durch trockenphysikalische Trennverfahren wie elektrostatische Trennung und Schwerkrafttrennung: Fe-Metalle sind durch Magnettrennung, verschiedene Metalle sind durch Wirbelstromtrennung separierbar. Legierungen sind damit nicht trennbar. Die Reinheitsgrade der Metallfraktionen können bis zu 95-97 % betragen. Die Shredderleichtfraktion wird derzeit nur gesammelt.

Originalanwendungen aus den aufgeschlossenen Sekundärwerkstoffen werden nicht realisiert, sind aber prinzipiell möglich.

Rentabilität ist zur Zeit nur bei teuren Werkstoffen wie z.B. Kupfer möglich: der Kaufpreis für 1 kg Kabel beträgt ca. 80 Pfennig. Für das gewonnene Kupfer ist ein Erlös von 3,50 DM erreichbar. Elektronikschrottreycling ist zur Zeit ein Zuschußgeschäft. Man hofft jedoch, in naher Zukunft auch Gewinne zu erwirtschaften, die aus dem Verkauf einiger Fraktionen und den Gebühren für die angelieferten Altgeräte stammen. Für einige der anfallenden Fraktionen wird man für deren externe Weiterverwertung weiterhin zuzahlen müssen. Eine Wiederverwendung demontier-

ter, funktionsfähiger Komponenten wird nicht vorgenommen. Sämtliche Altprodukte gelangen in die Verwertung.

Problemschwerpunkte der Gestaltung heutiger Produkte im Hinblick auf deren stoffliche Verwertung sind in der schwierigen Demontierbarkeit und der schlechten Identifizierbarkeit einiger Werkstoffe, insbesondere der Schadstoffe zu sehen. Schwierigkeiten bei der Trennung von Verbunden werden bei Verschraubungen und Verklebungen genannt. Dies sind Ansatzpunkte für die Gestaltung neuer Produkte.

Die Aktivitäten in Brunsbüttel beschränken sich zur Zeit auf Deutschland. Verwertet wird der Elektronikschrott aus dem norddeutschen Raum, aber auch aus Anlieferungen anderer Entsorger, u.a. auch der BSR.

Zur Zeit arbeitet die Anlage auf der Basis konventioneller mechanischer Technologien, aus denen die Fa. Interrecycling aus der Schweiz eine komplette Anlage zusammengestellt hat. Hinzukommen werden in naher Zukunft verfeinerte Sortiereinrichtungen, um einen höheren Reinheitsgrad der gewonnenen Fraktionen zu erreichen. Mit der Einführung völlig neuer Technologien ist hingegen nicht zu rechnen.

Für viele der gewonnenen Fraktionen bestehen bewährte Absatzmöglichkeiten. Das gilt besonders für Metalle. Anders sieht das bei vermischten Fraktionen, vor allem den Kunststoffen und dem Shredderleichtmüll aus. Teilweise lagern die gesamten Mengen, die von der Anlage bisher erzeugt wurden, noch auf dem Werkgelände, da sich noch kein Abnehmer gefunden hat. Bei den Kunststoffen sind derzeit ausschließlich Downcycling-Anwendungen möglich (z.B. Fußbodenbeläge) oder gar nur der Weg der thermischen Verwertung oder Deponie denkbar.

In Abhängigkeit von der Menge der anfallenden Altgeräte und der Verfahrensentwicklung ist mit einem erhöhten Arbeitskräftebedarf zu rechnen. Neue Industrien werden nicht entstehen.

Die Akzeptanz in der Bevölkerung für das Recycling von Altprodukten ist sehr groß. Das wird an der Bereitschaft erkennbar, alte Geräte bei kommunalen Sammlungen abzugeben oder diese sogar zu den Betriebshöfen der Entsorger zu bringen.

1.2.3.6 Automobilrecycling: Pilotanlage zur Demontage von Automobilen

Im Rahmen eines Pilotprojekts werden in München/Lohof Alt- und Versuchsfahrzeuge trockengelegt und teildemontiert. Ziel dieser Aktivitäten ist es, Verfahren und Verfahrensabläufe zu entwickeln und zu optimieren und Demontageanweisungen abzufassen. Diese Erkenntnisse sollen den Autoverwertern eines aufzubauenden Verwerternetzes im In- und Ausland als Richtlinie zur Verfügung gestellt werden. Diese lizenzierten Betriebe führen die eigentliche Verwertung durch, während das Mutterunternehmen Konzepte hierfür entwickelt. Erfahrungen des

Projekts sollen auf der anderen Seite Konsequenzen für die zukünftige Produktgestaltung aufzeigen.

Das Unternehmen entwickelt für diese Zwecke das Informations- und Datenbanksystem CAR (Computer Aided Recycling). Dabei werden die Erkenntnisse in einer Datenbank abgelegt und über ein Informationssystem als Vorgaben folgenden Bereichen zugeführt: Entwicklung/Konstruktion, Materialwirtschaft, Zulieferindustrie, Aufbereitung/Recyclate, Wiederverwendung und Altfahrzeugverwertung.

Zur Erfassung der Demontagedaten werden für jeden Fahrzeugtyp Bauteildaten aufgestellt. Diese enthalten beispielsweise Werkstoffe, Demontagezeit, Verbindungstechnik und Teilgewicht. Auf diesen Vorgaben basieren die Demontageanweisungen für den Altfahrzeugverwerterbetrieb. In grafischer Form sind dort die zu demontierenden Bauteile gekennzeichnet.

Zur Kunststofferkennung wird ein selbstentwickeltes Detektionsgerät eingesetzt, welches auf dem Prinzip der Infrarot-Absorptionsspektroskopie beruht. Zum Entgegenwirken von Fehlinterpretationen wird das Bauteil an einer Stelle angefräst, um Beschichtungen zu entfernen. Der so gesäuberte Bereich wird vor den Sensor gehalten. Nach einigen Sekunden erscheint die Kunststoffsorte auf dem Bildschirm, der Bediener gibt das Bauteil in den entsprechenden Behälter. Mit diesem Verfahren können auch Blends erkannt werden.

Die Aufarbeitung von Aggregaten zu Austauschteilen wird in der Automobilbranche seit Jahrzehnten durchgeführt. Gleichfalls ist die Shreddertechnik ein Verfahren mit großem Know how. Heutige Aktivitäten sind stark auf das Kunststoffrecycling ausgerichtet: Bei steigender Einsatzquote an Kunststoffen werden Materialkreisläufe angestrebt. Primäranwendungen sind hier zwar werkstofftechnologisch machbar, werden aber nicht praktiziert. Heute werden aus Mahlgut alter Stoßfänger Serienbauteile gefertigt.

Zur Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse des Pilotprojekts wird der Projektleitung ein Einspruchsrecht bei allen Neuentwicklungen eingeräumt. Damit können zukünftige Probleme bei der Demontage und Verwertung von Altautos reduziert werden.

Künftige Aktivitäten dieses Recyclingbereichs sind weiterhin die Erarbeitung von Demontagehandbüchern, der Ausbau eines Verwerternetzes, die Optimierung der Demontageverfahren, die Optimierung der Konstruktionen sowie der Ausbau des Informationssystems.

Das hier entwickelte Autoverwertungskonzept wird auch in absehbarer Zeit in dieser Form beibehalten.

Hinweis auf die Arbeitsplatzsituation: Zerlegung erfolgt beim Verwerter, der mit seinem vorhandenen Personal auskommen wird.

1.2.3.7 Demontage von Elektronikschrott: Elektrowerkzeuge

Das Unternehmen übernimmt in einem Pilotprojekt die Logistik und Verwertung ausgedienter Elektrowerkzeuge für fast alle Hersteller bzw. Anbieter in Deutschland. Von sechs Mitarbeitern wird die Erfassung, Demontage, Sortierung und Lagerung in zwei Werkshallen durchgeführt. Auf diese Weise werden im Jahr 300 t umgesetzt. Die Elektrowerkzeuge kommen zum einen vom Handel als auch von den Gebietskörperschaften der Entsorgung, z.B. auch von der BSR, nach Willershausen. Die erhaltenen Fraktionen werden unterschiedlichen Verwertern zugeführt, die eine weitere verfahrenstechnische Aufbereitung betreiben.

Zentrale Strategie dieses Standortes ist die Demontage von Hand. Gängige Werkzeuge wie Schrauber, Hammer, Zange, sowie einige wenige Vorrichtungen kommen zum Einsatz. Die Demontagekosten je kg Elektrowerkzeug betragen etwa 2 DM. Dem gegenüber steht ein Werkstoff Erlös von 0,20 - 0,40 DM je kg. Nicht demontierbare Geräte sowie Fraktionen, welche aus unverträglichen Werkstoffverbunden bestehen, werden extern geshreddert. Das Shreddern von Elektrowerkzeugen wäre heute der betriebswirtschaftlich sinnvollste Weg. Hier ist ein Erlös von ca. 0,20 DM je kg einschließlich Transport möglich.

Demontierte Baugruppen werden nicht wiederverwendet, dies ist zur Zeit nicht wirtschaftlich. Mit einer Automatisierung der Zerlegung ist nicht zu rechnen, da aufgrund der Vielfalt der Altgeräte sich der Aufwand nicht lohnen würde. Denkbar sind teilautomatisierte Hilfsmittel, die den Arbeiter bei einzelnen Tätigkeiten unterstützen.

Für die meisten Fraktionen, die bei der Zerlegung der Altgeräte anfallen, bestehen gute Absatzmöglichkeiten. Besonders zu erwähnen ist das Polyamid der Gehäuse, aus dem erneut Gehäuseteile gefertigt werden.

Folgende Ansatzmöglichkeiten für eine recyclingbegünstigende Produktgestaltung werden aus diesem Bereich gesehen: Einfachere Gehäusedemontage, z.B. 1-2 Schrauben und Schnappelemente. Verträgliche Klebeschilder (ein Werkstoff). Fettmengen reduzieren. Allgemein gilt die Aussage, daß eine demontagefreundliche Konstruktion auch die Montage vereinfacht. Eine so erklärte Kostenreduzierung ist generell besser im Unternehmen durchsetzbar als alleinige Recyclingkriterien.

In Abhängigkeit von der Menge der anfallenden Altgeräte und der Verfahrensentwicklung ist mit einem erhöhten Arbeitskräftebedarf zu rechnen. Für die eigentliche Zerlegung benötigt man angelegerte Kräfte mit handwerklichem Geschick und Improvisationstalent.

Die Zerlegung von Elektrowerkzeugen ist zur Zeit ein Zuschußgeschäft, das jedoch betrieben wird, um Erkenntnisse für die Neuentwicklung zu gewinnen. Ferner be-

steht das Ziel, der Elektronikschrott-Verordnung vorzugreifen und nicht in die Abhängigkeit externer Verwerter zu gelangen.

Die Analyse der exemplarisch beobachteten 6 Unternehmen der Verwerterbranche lassen folgenden Istzustand mit folgenden kurzfristigen Entwicklungstendenzen erkennen (langfristige Entwicklungen: siehe 1.2.4 Optionen):

1.2.3.8 Anlagentechnik

Die Metallaufbereitung hat derzeit einen so hohen Standard erreicht, daß man das Metallrecycling als weitgehend gelöst betrachten kann. Bei der Kunststoffverwertung besteht eine Schwachstelle in der Sortiertechnik. Hier sind jedoch vielversprechende Wege erkennbar. Einige Hersteller vertreiben bereits Gräte zur Schnellinterpretation verschiedener Kunststoffsorten. Das Erkennen der Zusammensetzung von Blends und Farbsortierungen ist möglich. Eine vollautomatische Sortierung ist schwierig, da viele Bauteile Verbunde sind oder Beschichtungen aufweisen. Für sortenreine Kunststoffe sind heute leistungsfähige Farbsortieranlagen verfügbar. Beim PVC Recycling werden diese erfolgreich eingesetzt: Alte, neue oder unverkaufte Fenster sowie Produktionsabfälle werden geshreddert, das PVC separiert, gereinigt und auf einheitliche Korngröße gemahlen. Aus diesem Gemisch verschiedenfarbiger Teilchen kann mittels optischer Detektion und Ausblasen weißes von farbigem PVC separiert werden.

Künftig wird die rohstoffliche Verwertung von Kunststoffen stark an Bedeutung gewinnen. Ein großer deutscher Chemiekonzern plant eine Anlage zur Verwertung von 300.000 t vermischter Altkunststoffe pro Jahr. Zum Vergleich: 750.000 t Kunststoffe werden jährlich von der DSD eingesammelt (siehe VDI-Nachrichten vom 9.9.94).

Für die Metallseparierung im Elektronikschrottreycling gilt ähnliches wie bei der Metallaufbereitung. Problematisch ist die Reststofffraktion und die Separationsmöglichkeit der in Spuren auftretenden Edelmetalle. Bei der Aufbereitung von Bildschirmen gelingt heute die Separation der verschiedenen Glassorten und der Leuchtschicht. Unklar ist, ob für die Scherben eine Wiederverwertung in Frage kommt. Die Leuchtschicht wird zur Zeit deponiert. Problematisch ist die Bewertung von Restfraktionen hinsichtlich Umweltverträglichkeit.

Zur Erlangung sortenreiner Fraktionen wird auch in Zukunft eine Vordemontage notwendig sein. Eine Schadstoffentfrachtung, Separation der Kunststoffe oder hochwertiger Komponenten ist nur so auf hohem Niveau erreichbar.

1.2.3.9 Wirtschaftlichkeit

Die Aufbereitung von Stahlschrott in Shredderanlagen ist aufgrund des hohen Durchsatzes wirtschaftlich. Bedingt durch Demontagekosten, aber auch durch hohe Investitionskosten für verfahrenstechnische Anlagen ist Elektronikschrottreycling ein Zuschußgeschäft und wird es weiterhin bleiben, auch wenn bei der Vermarktung insbesondere des Kupfers gute Erlöse erzielbar sind.

Recycling von Massenkunststoffen ist kaum rentabel, da die Kosten für Sammlung, Sortierung und Aufbereitung den Preis für Neuware weit übersteigt. Die Verwertung von DSD-Kunststoffen wird in erster Linie von Gebühren getragen. Hochwertige technische Kunststoffe sind dann wirtschaftlich verwertbar, wenn sie sortenrein und in ausreichender Menge vorliegen. Als Beispiele aus der Praxis sind hierzu Aktivitäten der Elektrowerkzeughersteller oder der Bereich Heizungspumpen zu nennen: In diese Pumpen sind Präzisionsbauteile aus hochwertigen Kunststoffen (PC, PA) verbaut. Der Ein- und Ausbau dieser Aggregate wird hauptsächlich von Installateuren vorgenommen, so daß der Rücklauf von Altprodukten gesichert ist. Damit entsteht ein Materialkreislauf zwischen Hersteller und Zulieferer, der auf wenige, leicht identifizierbare Kunststoffe beschränkt ist. Als Grundvoraussetzung werden neben hochwertigem Material enge Binnenbeziehungen genannt.

Die Wirtschaftlichkeit des Kfz-Recycling ist von der Zielsetzung seitens des Verwerter abhängig. Trockenlegung und Shreddern von Altfahrzeugen in einem Shredderbetrieb ist heute ohne Entrichtung einer Gebühr für den Anlieferer machbar. Sollen die Altfahrzeuge dagegen mit dem Ziel einer Reduktion der Shredderleichtfraktion oder Erhalt von Austauschaggregaten vordemontiert werden, ist eine Kostendeckung kaum realisierbar. Man ist jedoch nur so in der Lage, die Shredderleichtfraktion zu reduzieren und damit die Recyclingquote zu erhöhen. Die Kosten für Trockenlegung und Demontage in einem Verwerterbetrieb werden mit 200-300 DM je Fahrzeug beziffert.

1.2.3.10 Derzeitige Situation in der Verwerterbranche

Die derzeitige Situation im Bereich Elektronik- und Elektroschrottreycling ist durch einen starken Preisverfall bei der Verwertung gekennzeichnet. Die niedrigsten Angebote werden mit 300 DM/t angegeben (siehe VDI-Nachrichten vom 9.9.94). Es besteht damit die Gefahr einer nicht gesetzeskonformen und umweltgerechten Entsorgung/Verwertung dieser Produkte. Die den Markt erschließenden, großen Entsorgungs- und Stromversorgungsunternehmen stellen eine Existenzbedrohung der mittelständischen Entsorgungsindustrie dar.

Kritisch ist ebenfalls die Monopolisierung des DSD zu sehen: Die Garantie für die verordnungsgerechte Wiederverwertung der eingesammelten Kunststoffe übernimmt die DKR (Gesellschaft für Kunststoffrecycling, Köln). Diese vergibt Recyclingaufträge an die Verwerter, die jedoch zum größten Teil eigene Gesellschafter sind. Von den jährlich eingesammelten 750.000 t Kunststoffabfall vergibt die DKR nur 200.000 t/a an mittelständische Unternehmen.

Viele Unternehmen und teilweise ganze Branchen versuchen, in Form von Pilotprojekten eigene Erfahrungen mit Demontage und Verwertung zu sammeln. Oft ist eine wirtschaftliche Durchführung nicht erreichbar, dies ist dabei auch nicht das primäre Ziel: es sollen aus den Erfahrungen Erkenntnisse für zukünftige Strategien sowie recyclinggerechte Produktgestaltung gewonnen werden. Diese Aktivitäten sollen auch verhindern, daß die Firmen auf dem Verwertungssektor zu stark in Abhängigkeit Dritter gelangen.

In zunehmendem Maße treten Kapazitätsprobleme in der Entsorgungsindustrie mit schwer verwertbaren Materialien oder kritischen Stoffen auf. Zu nennen sind z.B. Fahrzeugflüssigkeiten und Elastomere. Die Zementindustrie ist mit 400.000 t Altfellen jährlich stark überlastet.

Die Rückführung von sortenreinen Kunststoffen erfährt eine Trendwende. Ließen sich Kunststoffrecyclate bisher schwer vermarkten und wurden sie zu niederwertigen Bauteilen wie Blumentöpfen, Paletten und Zaunpfählen verarbeitet, so finden sie heute mit definierten Werkstoffkennwerten und auf Kundenwünsche eingefärbt guten Absatz.

Oft wird der Einsatz von Recyclaten allerdings auch durch behördliche Bestimmungen erschwert.

Bei den betrachteten Unternehmen stand das Altstoff- bzw. Materialrecycling im Vordergrund. Ein Produktrecycling, d.h. die Wieder- oder Weiterverwendung von Produktkomponenten, wird derzeit nur in wenigen Unternehmen der Automobilindustrie vorangetrieben. Gründe für die nur zögerliche Anwendung dieses hochwertigen Recyclings sind die genannten Technik- und Akzeptanzgrenzen sowie vor allem die noch fehlende Wirtschaftlichkeit. Letztere wird, wie erste Ansätze zeigen, vor allem durch Weiterverwendung bei anderen Anwendungen zu erreichen sein. So werden z.B. leistungsstarke Pkw-Motoren nach Aufarbeitung in Kleinnutzfahrzeugen als Neumotoren eingesetzt. Anders als bei Pkw's ist das Produktrecycling in der Nutzfahrzeugbranche ein bewährtes Verfahren, da bei dieser die Km-Leistungen pro Jahr sehr hoch sind und deshalb die Komponenten kürzere Lebensdauerzeiten haben als die Karosserien.

1.2.3.11 Vorsorgende Maßnahmen

Die umweltgerechte Produktion, d.h. die vorsorgende, bereits bei der Produktplanung, -entwicklung und -konstruktion einsetzende umweltgerechte Produkt- und Prozeßgestaltung steckt in ihrer Anwendung in den Anfängen, obwohl der Erkenntnisstand durch zahlreiche Forschungsaktivitäten an Forschungsinstituten und auch Großunternehmen schon recht hoch ist. Als Beispiel sei die VDI-Richtlinie 2243 genannt, die in ihrer ersten Fassung bereits 1984 erschien. Heute nehmen allerdings die Anwendungen dieser Empfehlungen zu, was durch gesetzgeberische Maßnahmen sowie einen Stimmungsumschwung in der Gesellschaft und Industrie bedingt ist.

Für die derzeitigen Forschungsaktivitäten sind stellvertretend für eine große Anzahl von Einzelvorhaben vor allem 2 Sonderforschungsbereiche der DFG zu nennen:

SFB 281, TU Berlin: Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen [16].

SFB 392, TH Darmstadt: Entwicklung umweltgerechter Produkte [17].

Beide Sonderforschungsbereiche sind insofern repräsentativ für weitere Vorhaben, weil der SFB 281 die wichtigste Problematik des nachsorgenden Recyclings, nämlich eine wirtschaftliche und qualitativ hochentwickelte Demontagefähigkeit der Produkte und Demontagetechnologien behandelt, während der SFB 392 vor allem eine umweltschonende Produktnutzung durch vorsorgende Produktgestaltung erreichen will. Beide Sonderforschungsbereiche zeichnen sich darüber hinaus auch dadurch aus, daß sie ihre Zielsetzungen durch eine ganzheitliche Betrachtung aller Produkt- und Prozeßeigenschaften und des gesamten Lebenszyklusses der Produkte erreichen wollen. Diese Vorgehensweise kann als generelle Strategie einer umweltgerechten Produktion angesehen werden: Alle Produkt- und Prozeßeigenschaften müssen integriert die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt garantieren, d.h. z.B., daß es keinen Sinn macht, ein recyclingfreundliches Produkt zu entwickeln, das durch schlechte Funktionseigenschaften und zu hohen Preis nicht marktfähig ist. Für weitere wegweisende Forschungsarbeiten sei auf die Literatur verwiesen: [4-6, 9, 1 und 2 mit umfangreicher Lit.]. Arbeitsmittel für den Ingenieur, insbesondere Konstrukteur, sind in [1-8, 10] enthalten.

1.2.4 Optionen

Umweltschonung durch Entwicklung und Anwendung einer integrierten Umwelttechnik wurde in den letzten Jahren in Deutschland und Europa auf mehreren Wegen vorangetrieben. Zunächst sind beispielhaft einige gesetzgeberische Maßnahmen zu nennen [1, 12, 15]:

- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW/AbfG),
- EG-Öko-Audit-Verordnung (EMAS1836) und
- Elektroschrott-, Altkar-, und Batterie-Verordnungen.

Neben dem Gesetzgeber bewirken eine Reihe anderer Institutionen konkrete Maßnahmen und auch ein Umdenken. Exemplarisch sind zu nennen:

- Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag [12],
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt [15],
- Deutscher Rat für Landespflege [11],
- Umweltbundesamt, Berlin,
- Umwelttechnologieforum Berlin UTECH,
- UTG Gesellschaft für Umwelttechnik, Viersen,
- Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart [18],
- Öko-Institut e.V., Darmstadt,
- Greenpeace,
- BAUM, Bundesdeutscher Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management e.V.,
- BUND,
- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT, Berlin und
- Institut für Produktdauer-Forschung, Genf.

1.2.4.1 Umwelttechnik und industrielle Produktionssysteme

Zu den Auswirkungen einer integrierten Umwelttechnik, zu der vorsorgende und nachsorgende Maßnahmen gehören, auf die Zukunftsentwicklung industrieller Produktionssysteme, insbesondere auf die Beschäftigung, gibt es widersprüchliche Prognosen. Im folgenden sollen diese nur stichwortartig aufgeführt werden, um die Unsicherheit einer realistischen Prognose zu unterstreichen [12, 15] (siehe auch 1.2.3):

Positive Tendenzen:

- Additive Umwelttechnik aus Deutschland hat international eine sehr gute, aber leider abnehmende Marktposition (3. Platz hinter USA und Japan). Die Patentintensität ist nach Tabelle 1.2-1 sehr gut [19].

- Wegen der geforderten Spezialisierung typischer Lösungen für den integrierten Umweltschutz und der damit erforderlichen Flexibilität und Innovationsfähigkeit bestehen Chancen vor allem für KMUs und Nischenmärkte, wenn die Kapitalausstattung ausreicht.
- Der Weltmarkt für Umweltschutzgüter und -dienstleistungen wird überdurchschnittlich dynamisch angesehen (OECD: Wachstum 5,5 % pro Jahr von 200 Mrd. US-Dollar Anfang der 90er Jahre auf 300 Mrd. im Jahr 2000). Die deutsche Umweltschutzindustrie nimmt hier eine führende Stellung ein.
- In allen Wirtschaftsbereichen wird eine zunehmende Bedeutung von umweltfreundlicheren Produkten und umweltschonenden Prozeßtechniken erwartet. Die Integration von Umweltschutz in Produkte und Prozesse wird die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen, wenn hierzu auch eine eindeutige Prognose wegen der Vielzahl von Einflußfaktoren auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit schwierig ist.

Spezialisierung 1990-1993	Luft	Wasser	Lärm	Abfall	Recycling
USA	-29	-23	-32	-19	-31
Japan	19	-57	-27	-76	-66
Deutschland	43	23	35	45	53
Großbritannien	2	19	16	-32	-32
Frankreich	-32	1	-26	5	-10
Italien	-13	-10	59	2	25

Positive Vorzeichen: Der Anteil an Patenten auf diesem Gebiet ist höher als bei Patenten insgesamt.

Tabelle 1.2-1

Patentintensität in der additiven und nachsorgenden Umwelttechnik [19]

- Integrierte, vorsorgende Umwelttechnik kann durch Reduzierung des Ressourceneinsatzes und durch Kreislaufwirtschaft Herstellungs- und Entsorgungskosten absenken.

- Die Beschäftigungswirkungen durch zunehmenden Umweltschutz werden recht unterschiedlich, überwiegend aber doch positiv beurteilt. Tabelle 1.2-2 zeigt eine Schätzung des DIW für die alten Bundesländer. Für die neuen Bundesländer wird eine Zunahme von ca. 135.000 auf 340.000 Beschäftigte geschätzt, so daß sich insgesamt eine Zunahme für Deutschland von ca. 700.000 im Jahr 1990 auf 1.1 Mio. Beschäftigte bis zum Jahr 2000 ergäbe. Tabelle 1.2-3 zeigt allerdings die Unsicherheit solcher Prognosen.

Im Hinblick auf positive Beschäftigungstrends ist auch eine Belebung des Marktes durch Produktions- und Absatzerhöhung denkbar. Gerade im internationalen Vergleich sorgt ein Vorsprung bei der Entwicklung von Umwelttechnik für mehr Beschäftigung, mehr Umsatz und langfristig auch für eine Neuschaffung von Arbeitsplätzen.

	1990	2000
Beschäftigte mit unmittelbaren Umweltschutzaufgaben davon	206	289
- in Unternehmen	97	119
- im öffentlichen Bereich	109	170
Beschäftigte durch die Erstellung von Umweltschutzgütern und -dienstleistungen davon	341	458
- für Investitionsgüter	178	253
- für Betriebsmittel	81	113
- für Exporte	82	93
Beschäftigte durch ökologische Sanierung der neuen Bundesländer	-	58
Insgesamt	546	785

Tabelle 1.2-2

Struktur der Umweltschutzbeschäftigung in den alten Bundesländern (in Tausend Personen) Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Blazejczak, J.; Edler, D.; Gornig, M.: Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes - Stand und Perspektiven, Synthesebericht. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin 1993, S. 32, 33, 79.

Mögliche negative Effekte	Mögliche positive Effekte
<ul style="list-style-type: none"> – Beschäftigungseinbußen im nachsorgenden Umweltschutzsektor – Beschäftigungseinbußen bei den Anbietern additiver Umwelttechnik – Beschäftigungseinbußen in der Energiegewinnung und -umwandlung und der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung durch Produktionsrückgang – Beschäftigungseinbußen in der die Energie- und Rohstoffwirtschaft beliefernden Investitionsgüterindustrie – Beschäftigungseinbußen aufgrund der mit der Implementation von integrierter Umwelttechnik möglicherweise verbundenen Erhöhung der Arbeitsproduktivität 	<ul style="list-style-type: none"> – Beschäftigungsgewinne bei den Anbietern integrierter Umwelttechnik und energie- und rohstoffschonender Technik – Beschäftigungsgewinne im Falle von “win-win options” durch anderweitige Verwendung der eingesparten Mittel – Beschäftigungsgewinne aufgrund erhöhter Wettbewerbsfähigkeit durch Einsatz produktions- und produktintegrierter Umwelttechnik – geringere Verdrängungseffekte als bei Einsatz additiver Technik

Tabelle 1.2-3

Mögliche positive und negative Beschäftigungseffekte bei einem verstärkten Einsatz integrierter Umwelttechnik [12].

Negative Tendenzen:

- Additive und nachsorgende Umwelttechnik führen durch zusätzlichen Aufwand prinzipbedingt zu erhöhten Produktionskosten und zu sinkender Produktivität.
- Die Abschätzungen des zukünftigen Umweltschutzmarktes weisen eine erhebliche Bandbreite und Unsicherheit auf.
- Die Zunahme vorsorgender Umwelttechnik (z.B. umweltgerechte Konstruktion) wird teilweise auf Kosten der bisherigen Umweltschutzindustrie gehen.
- Trotz der prinzipiellen Vorteile hat sich die integrierte, vorsorgende Umwelttechnik in den industriellen Investitions- und Innovationsprozessen bisher nur begrenzt durchsetzen können. Die Ursachen hierfür werden in einer Reihe von

Innovationshemmnissen gesehen, u.a., daß sie nur bei langfristiger Produktplanung umsetzbar ist, was bei den heute kurzen Innovationszyklen erschwert ist.

- Die strategische und ökologische Grundhaltung der Unternehmen wird bislang noch von einer weitgehend defensiven und reparaturorientierten Verhaltensweise bestimmt, was zugleich den bisherigen Trend zu additiven Techniken begründet.

1.2.4.2 Umweltpolitische Instrumente

Die Umweltschonung und die hierfür erforderliche Entwicklung einer leistungsfähigen, integrierten Umwelttechnik gehören zu den Herausforderungen der Zukunft, so daß man sie durch Instrumente steuern und unterstützen muß. Folgende Instrumente werden diskutiert und zum Teil schon praktiziert:

- Ordnungsrechtliche Instrumente: Umweltstandards und Normen, Genehmigungsverfahren u. dgl. durch den Gesetzgeber,
- Ökonomische Instrumente: Umweltabgaben, Umweltzertifikate, Umwelthaftungsrecht,
- Instrumente der freiwilligen Selbstverpflichtung: Branchen- und Unternehmensvereinbarungen,
- Organisatorische und informatorische Instrumente: Öko-Audit, Produkt-Ökobilanzen, Umweltberichte, Umweltzeichen sowie
- Förderpolitische Instrumente: Förderung von Forschung und Entwicklung, von Umweltschutzinvestitionen und von Informations- und Beratungsangeboten.

Handlungsansätze zur Förderung einer integrierten Umwelttechnik müssen sicher eine Kombination der genannten Instrumente darstellen, wobei eine unterschiedliche Priorisierung zu unterschiedlichen Szenarien führt [12]. Als wichtig wird die Festlegung umweltpolitischer Rahmenbedingungen angesehen. Hierzu gehören die Entwicklung einer umweltpolitischen Langfristplanung mit folgenden Schritten:

- Entwicklung quantitativer Reduktionsziele für Rohstoffverbräuche und Emissionen,
- Entwicklung eines gesellschaftlichen Dialogs mit allen betroffenen Gruppen [18] und
- Periodische wissenschaftliche Evaluation des Planvollzugs und eine Fortschreibung des Planes.

1.2.4.2 Fazit

Für die verstärkte Einführung einer umweltgerechten Produktion im Rahmen einer integrierten Umwelttechnik gibt es keine Alternative [20]. Trotz einer dadurch möglichen Reduzierung der additiven und nachsorgenden Umwelttechnik werden die positiven Auswirkungen überwiegen, insbesondere auf die Wettbewerbsfähigkeit am Weltmarkt. Schwerpunkte, auch im beschäftigungspolitischen Sinne, werden in einer Weiterentwicklung und Optimierung einer Kreislaufwirtschaft für Produkte und Materialien gesehen. Da diese nur begrenzt automatisierbar ist, wird sie vielfältige Beschäftigungspositionen bieten. Trotz des langfristigen Ziels einer leistungsfähigen vorsorgenden Umwelttechnik wird der Markt für additive und vorsorgende Umwelttechnik in absehbarer Zeit noch groß bleiben. Die führende internationale Position Deutschlands in diesem Bereich ist deshalb durch innovative Verbesserungen und durch weitere Forschung zu festigen und auszubauen.

1.2.5 Literatur

- [1] Nickel, W. (Hrsg.): Recycling-Handbuch, Strategien-Technologien-Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1996.
- [2] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung. 4. Aufl., Berlin: Springer 1997.
- [3] VDI-Richtlinie 2243: Konstruieren recyclinggerechter Produkte. Düsseldorf: VDI-EKV 1993.
- [4] Wende, A.: Integration der recyclingorientierten Produktgestaltung in den methodischen Konstruktionsprozeß. VDI-Fortschrittsberichte Reihe 1, Nr. 239. Düsseldorf: VDI-Verlag 1994.
- [5] Suhr, M.: Wissensbasierte Unterstützung recyclingorientierter Produktgestaltung. Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hrsg. W. Beitz), H. 33, TU Berlin 1996.
- [6] Grieger, S.: Strategien zur Entwicklung recyclingfähiger Produkte, beispielhaft gezeigt an Elektrowerkzeugen. VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 1, Nr. 270. Düsseldorf: VDI-Verlag 1996.
- [7] Brinkmann, Th.; Ehrenstein, G. W.; Steinhilper, R.: Umwelt- und recyclinggerechte Produktentwicklung. Augsburg: WEKA-Verlag 1994.
- [8] Menges, G.; Michaeli, W.; Bittner, M.: Recycling von Kunststoffen. München: C. Hanser-Verlag 1992.
- [9] Birkhofer, H. (Hrsg.): Lebenszyklus Technischer Produkte. thema Forschung, H. 2. Darmstadt: Techn. Hochschule 1996.
- [10] Wieser, J.; Greiner, D.; Rothe, J.: Wiederverarbeitung von Kunststoffen in technischen Teilen. FKM-Forschungshefte Nr. 218, Frankfurt: Forschungskuratorium Maschinenbau 1996.
- [11] N.N.: Ökologische Umstellungen in der industriellen Produktion. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Nr. 65. Meckenheim: Druck Center Meckenheim 1994.

- [12] Coenen, R.; Klein-Vielhauer, S.; Meyer, R.: Umwelttechnik und wirtschaftliche Entwicklung. TAB-Arbeitsbericht Nr. 35, Bonn: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag 1995.
- [13] Jagoda, B.: Droht Arbeitslosigkeit durch neue Technologien? Forum "Technik und Beschäftigung". Spektrum der Wissenschaft, Sept. 1990.
- [14] Caduff, G; Züst, R.: Steigerung der Öko-Performance in der Produktentwicklung. Konstruktion 49 (1997).
- [15] Lefèvre, J. R.: Integrierte (Umwelt-) Technologien, auch für den Mittelstand ein Weg zu geringerer Umweltbelastung? 2. Internationale Sommerakademie, St. Marienthal: Umwelt und Arbeit - Innovationen als Motor des Strukturwandels. Ostritz: Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1996.
- [16] DFG: Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen. Sonderforschungsbereich 281, TU Berlin (ab 1995).
- [17] DFG: Entwicklung umweltgerechter Produkte. Sonderforschungsbereich 392, TH Darmstadt (ab 1996).
- [18] Putzlitz, G.; Schade, D. (Hrsg.): Wechselbeziehungen Mensch, Umwelt, Technik. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag 1997.
- [19] BMBF-Bericht: Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands, 1996, S. 63.
- [20] Winter, G. (Hrsg.): Ökologische Unternehmensentwicklung - Management im dynamischen Umfeld. Berlin: Springer 1997.