

Beihefte zu

# Müll und Abfall

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen  
Organ für die gesamte Entsorgung und Abfallwirtschaft



32

## Altautoverwertung

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit – Entwicklungen

Von Dipl.-Ing. Georg Härdtle, Dipl.-Ing. Klaus Marek  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Bilitewski und Dipl.-Ing. Christian Gorr



Wir recyceln Altfahrzeuge.

# Wir sammeln nicht nur Wertstoffe, sondern auch Know-how.



**Das ALBA-Angebot :**  
Autodemontage mit Ersatzteilverkauf in 12623 Berlin-Hellersdorf,  
Hultschiner Damm 335, Tel.: (030) 35 182-781/782.



Schon bevor der Gesetzgeber das Recycling von Altfahrzeugen verlangte, haben wir gehandelt: 1993 wurde in Berlin die erste typenoffene Autodemontage in Betrieb genommen. Inzwischen haben wir auf diesem Gebiet jede Menge Know-how gesammelt. Und als eines der führenden Entsorgungsunternehmen Deutschlands haben wir bewiesen, daß sich Altfahrzeuge ökologisch entsorgen lassen: Betriebsflüssigkeiten werden

entnommen und verwertet. So gelangt nichts ins Erdreich. Enthaltene Wertstoffe, wie Gummi, Glas, PVC u.a. Kunststoffe werden de-

**ALBA auf der  
ENTSORGA '94  
Köln 18.-21. Mai  
Halle 13.2  
Gang B, Stand 4.**

**ALBA - alles bestens entsorgt.**



montiert und lassen sich recyceln. Ganz nebenbei haben wir viele zufriedene Kunden, die mit Hilfe unserer Ersatzteile noch ein wenig warten, bis sie ihr Auto zu uns bringen.



# PREUSSAG RECYCLING GmbH

## Der neue Weg der Fahrzeugverwertung

PREUSSAG RECYCLING baut als Beauftragter zahlreicher Automobilhersteller aus dem In- und Ausland ein bundesweit flächendeckendes Netz an Sammelstellen und Demontagezentren auf.

Dieses Netz, errichtet in Kooperation mit mittelständischen Partnern, wird jedem Letzthalter eine umweltgerechte und ordnungsgemäße Entsorgung seines Alt- bzw. Unfallfahrzeuges ermöglichen.

Die selbständigen Kooperationspartner im PREUSSAG RECYCLING System können auf ein geschlossenes Konzept zur umweltgerechten und wirtschaftlichen Autoverwertung zurückgreifen.

Dieses beinhaltet

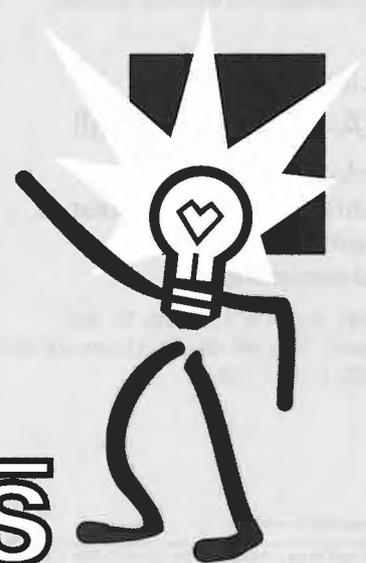
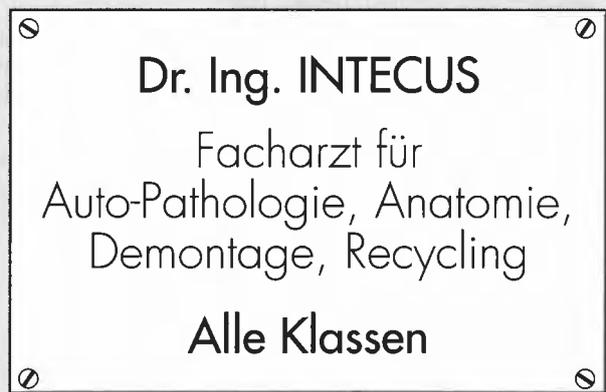
- Unterstützung bei Genehmigungsverfahren
- Erstellung von Machbarkeitsstudien
- modernste Trockenlegungs- und Demontagetechnologie
- Finanzierungs- und Leasingberatung
- Angebot einer kompletten Entsorgungslogistik
- überregionale Vermarktung von Ersatz- und Austauschteilen
- Erschließung neuer Materialkreisläufe
- systemspezifische DV-Software
- Personalschulung
- bundesweite Werbung

Für weitere Auskünfte wenden Sie sich bitte an folgende Adresse:

### PREUSSAG RECYCLING GmbH

Karl-Wiechert-Allee 4 · 30625 Hannover · Telefon 0511/566-05 · Telefax 0511/566-2014

## Lilli Leuchtes heiße Adresse in Sachen Altautoverwertung:



Technik fängt im Kopf an

Berlin Tel.: 030/345 10 35  
Dresden Tel.: 0351/5 53 53  
Freiburg Tel.: 0761/70 15 35  
Hamburg Tel.: 040/850 00 12  
Potsdam Tel.: 0331/748 16 10  
Rostock Tel.: 0381/793 245

**intecus**  
Ingenieurgesellschaft für Technischen Umweltschutz

# Abfall und Wiederverwertung



P.J. Tettinger, C. Asbeck-Schröder, T. Mann

## Vorrang der Abfallverwertung

Eine Analyse des Bundesabfallgesetzes

1993. LVIII, 258 S. 2 Abb.  
Geb. DM 98,-; öS 764,40; sFr 98,00  
ISBN 3-540-56916-2

Die hier vorliegende interdisziplinäre Untersuchung beschäftigt sich hauptsächlich mit der Frage, ob die Vorrangklausel des geltenden Bundesabfallgesetzes als taugliche Grundlage für die Bewältigung des Abfallproblems gelten kann. Dazu wird der Gesetzestext einer umfassenden juristischen Interpretation unterzogen verbunden mit einer realitätsnahen Analyse der relevanten technischen, volks- und betriebswirtschaftlichen Aspekte.

H. Häberle (Hrsg.)

## TA-Siedlungsabfall

Erfolgreiche Abfallwirtschaftskonzepte, Restmüllbehandlung, Absatzstrategien

1994. Etwa 140 S. 24 Abb. 18 Tab.  
Brosch. Etwa DM 68,-; öS 530,40; sFr 68,00  
ISBN 3-540-57550-2



E. Hornbogen, R. Bode, P. Donner

## Recycling

Materialwissenschaftliche Aspekte

1993. VII, 126 S. 47 Abb. 22 Tab.  
Geb. DM 58,-; öS 452,40; sFr 58,00  
ISBN 3-540-56408-X

Heute findet - angeregt durch vielerlei öffentliche Erörterungen - die Frage Beachtung: Was geschieht mit all den Werkstoffen, wenn sie ihren Dienst in den Produkten der Technik oder als Verpackung erfüllt haben? Dieses Buch behandelt die verschiedenen damit in Zusammenhang stehenden Themen. Dazu liefert die Materialwissenschaft Grundlagen über Struktur und Eigenschaften aller Werkstoffe. Diese Eigenschaften sollten heute im Rahmen vollständiger Kreisläufe beurteilt werden.

Diese umfassen „recycling-gerechte“ Fertigungs- und Konstruktionsmethoden und am Ende die vier Optionen für die Aufbereitung ausgedienter Werkstoffe. Dazu kommt schon heute die Entwicklung besonders recycling-freundlicher Werkstoffe. Allerdings steht die wissenschaftliche Durchdringung dieses Gebietes ganz am Anfang. Eine Beschäftigung damit erscheint aber um so lohnender. Anregungen dazu gibt dieses Buch!

A. I. Urban, B. Bilitewski

## Thermische Verfahren in der Abfallwirtschaft

1994. Etwa 300 S.  
Geb. DM 98,-; öS 764,40; sFr 98,00  
ISBN 3-540-54639-1

In diesem Buch werden die technologischen Grundlagen für die Hausmüllverbrennung, aber auch für die Sondermüllverbrennung dargestellt. Es werden die Themen Grundlagen und Richtlinien behandelt und die Kleinverbrennungsanlagen sowie Rostfeuerungsanlagen angesprochen und erklärt. Auch auf die Pyrolyse sowie Biogas wird eingegangen. Des Weiteren werden die Bereiche Trocknung und Sonderverfahren angesprochen.

Für eines der wichtigsten Probleme der kommenden Jahre liegt damit erstmalig ein fundiertes Lehr- und Fachbuch vor.

B. Bilitewski, G. Härdtle, K. Marek

## Abfallwirtschaft

Eine Einführung

2. Aufl. 1994. XVII, 635 S. 358 Abb.  
Geb. DM 88,-; öS 686,40; sFr 88,00  
ISBN 3-540-56751-8

Das momentan vollständigste deutschsprachige Werk zum Thema Abfall, das alle Fragen der Umweltbeauftragten auf kommunaler Ebene beantwortet. Gleichzeitig eignet es sich als Lehrbuch für Fachhochschulen und Universitäten.

In der zweiten Auflage wurden auch abgescherte Erfahrungen aus den neuen Bundesländern ausgewertet.



Springer

rb.1674/MNT/V/1

Preisänderungen vorbehalten.

Springer-Verlag □ Heidelberger Platz 3, D-14197 Berlin, F. R. Germany □ 175 Fifth Ave., New York, NY 10010, USA □ Cotteshall Road, Farncombe, Godalming, Surrey GU7 1NH, England □ 26, rue des Carmes, F-75005 Paris, France □ 37-3, Hongo 3-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan □ Room 701, Mirror Tower, 61 Mody Road, Tsimshatsui, Kowloon, Hong Kong □ Avinguda Diagonal, 468-4°C. E-08006 Barcelona, Spain □ Wesselényi u. 28, H-1075 Budapest, Hungary

Beihefte zu  
**MÜLL und ABFALL** Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen – Heft 32

# **Altautoverwertung**

**Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit – Entwicklungen**

Von Dipl.-Ing. Georg Härdtle, Dipl.-Ing. Klaus Marek,

Prof. Dr. Bernd Bilitewski und Dipl.-Ing. Christian Gorr

---

**ERICH SCHMIDT VERLAG**

## **Danksagung**

Die Autoren der vorliegenden Arbeit danken allen Mitarbeitern der Ingenieurgesellschaft INTECUS, die an der Bearbeitung mitgewirkt haben. Unser besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Christian Rupprich für die inhaltliche Mitarbeit und Frau Petra Bublitz für die redaktionelle Bearbeitung.

Dipl.-Ing. Georg Härdtle  
Dipl.-Ing. Klaus Marek  
Prof. Dr. Bernd Bilitewski  
Dipl.-Ing. Christian Gorr

Berlin, im Januar 1994

Bild auf dem Umschlag:  
Altautodemontageanlage, Fa. ALBA, Berlin  
Shredderanlage Fa. Koch & Lange, Berlin

ISBN 3 503 03605 9

Alle Rechte vorbehalten  
© Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin 1994

Druck: Regensburg Münster

## Geleitwort

Im Vorgriff auf die geplante Altautoverordnung der Bundesregierung haben in Deutschland erste Altautodemontageanlagen ihren Betrieb aufgenommen. Neben vorliegenden Studien und Planungen einzelner Anlagen gibt es konkrete Konzepte für ein flächendeckendes Altautoverwertungssystem.

Auch in anderen Staaten der EU gibt es analoge Bestrebungen zur Verbesserung der bisherigen Altautoverwertung.

In dieser Situation erscheint die Veröffentlichung eines zusammenfassenden Berichtes zur Altautoverwertung sinnvoll und notwendig. Der vorliegende Band, der von der INTECUS Ingenieurgesellschaft für technischen Umweltschutz herausgegeben wurde, gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Altautoverwertung und die in der Diskussion befindlichen Entwicklungen in Deutschland. Hierbei konnten die Erfahrungen der Autoren, die aus der Planung und Projektierung von Autodemontageanlagen ge-

wonnen wurden, eingebracht werden. Ausgehend von rechtlichen Rahmenbedingungen, staatlichen Vorgaben und Konzepten der beteiligten Industrie und Verbände werden Demontagetechniken und Verwertungsprobleme der separierten Wertstoffe diskutiert.

Die bisher bekannten Projekte zur Altautoverwertung werden beschrieben und die konstruktiven Erfordernisse einer demontagefreundlichen Automobilkonstruktion aufgelistet.

Der Band Altautoverwertung wird sicher nicht nur in der interessierten Öffentlichkeit Beachtung finden, sondern wird auch für in der Altautoverwertung tätige Firmen und Institutionen eine nützliche Informationsquelle darstellen.

Dr. D. Pautz  
Umweltbundesamt

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung . . . . .	9	5.2.2	Regranulat sortenrein . . . . .	35
2.	Rechtliche Grundlagen . . . . .	11	5.2.3	Regranulat sortenähnlich – Mischverbunde . . . . .	37
2.1	Zulassungserfordernis für Kfz-Verwertungsbetriebe . . . . .	11	5.2.4	Mischkunststoffe – Materialverbunde . . . . .	38
2.2	Weitere rechtliche Bestimmungen . . . . .	12	5.2.5	Zerlegung in chemische Grundstoffe . . . . .	39
2.3	Merkblatt der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall . . . . .	13	5.2.5.1	Hydrierung . . . . .	39
2.4	Entwürfe von Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zur Altautoverwertung . . . . .	13	5.2.5.2	Vergasung . . . . .	39
2.4.1	Altautoverordnung . . . . .	14	5.2.5.3	Solvolyse (Hydrolyse, Glykolyse, Alkoholyse) . . . . .	40
2.4.2	Technische Anleitung Shredderrückstände . . . . .	15	5.3	Edelmetalle aus Altkatalysatoren . . . . .	41
3.	Gegenwärtige Situation der Altautoverwertung . . . . .	16	5.3.1	Aufbau eines Katalysators . . . . .	41
3.1	Aufkommen an Altfahrzeugen . . . . .	16	5.3.2.	Edelmetallvorkommen und Verbrauch . . . . .	41
3.2	Materialzusammensetzung und Bestandteile der Fahrzeuge . . . . .	16	5.3.3	Verfügbarkeit von Altkatalysatoren . . . . .	41
3.3	Verwertungs- und Entsorgungswegen . . . . .	17	5.3.4	Anfallstellen für Altkatalysatoren . . . . .	42
3.4	Vorbehandlung durch Shredderanlagen . . . . .	18	5.3.5	Edelmetall Rückgewinnungsverfahren . . . . .	42
3.5	Shredderfraktionen, deren Verwertung und Entsorgung . . . . .	19	5.4	Autoglas . . . . .	43
3.6	Wirtschaftlichkeit der Altfahrzeugverwertung . . . . .	21	5.5	Betriebsflüssigkeiten . . . . .	44
3.7	Umweltrelevanz der Verwertung von Altfahrzeugen . . . . .	21	5.5.1	Altöle . . . . .	44
4.	Autodemontage . . . . .	24	5.5.2	Kraftstoffe . . . . .	44
4.1	Ziele und Anforderungen . . . . .	24	5.5.3	Kühlerfrostschutzmittel . . . . .	45
4.2	Demontage . . . . .	25	5.5.4	Bremsflüssigkeit . . . . .	45
4.2.1	Verfahrensablauf . . . . .	25	5.5.5	Altbatteriesäure . . . . .	45
4.2.2	Innerbetriebliche Logistik . . . . .	26	5.5.6	Kältemittel aus Klimaanlage . . . . .	45
4.2.3	Demontagetechniken . . . . .	28	5.6	Altreifen . . . . .	45
4.3	Produkte und Reststoffe der Autodemontage . . . . .	30	5.6.1	Zusammensetzung und -aufkommen . . . . .	45
4.3.1	Ersatzteilgewinnung . . . . .	30	5.6.2.	Verwertungsverfahren . . . . .	46
4.3.2	Stahlschrott, Nichteisenmetalle . . . . .	30	5.6.2.1.	Runderneuerung . . . . .	46
4.3.3	Kunststoffe . . . . .	31	5.6.2.2.	Stoffliche Verwertung als Regenerat . . . . .	46
4.3.4	Betriebsflüssigkeiten . . . . .	31	5.6.2.3.	Thermische Verwertung . . . . .	47
4.4	Reststoffentsorgung . . . . .	31	5.6.2.4	Rohstoffliche Nutzung . . . . .	47
5.	Verwertung der Demontageprodukte . . . . .	33	5.6.3	Marktentwicklung . . . . .	47
5.1	Eisen- und Nichteisenmetalle . . . . .	33	5.7	Batterien . . . . .	48
5.1.1	Eisenmetalle . . . . .	33	5.7.1	Anfallstellen und Aufkommen . . . . .	48
5.1.2	Nichteisenmetalle . . . . .	33	5.7.2	Aufbau der Batterien . . . . .	48
5.2	Kunststoffe . . . . .	34	5.7.3	Verwertungsverfahren . . . . .	48
5.2.1	Probleme der Wiederverwertung von Kunststoffen . . . . .	34	5.7.3.1	Verwertung ohne Vorbehandlung . . . . .	48
			5.7.3.2	Verwertung mit Vorbehandlung . . . . .	49
			5.8	Bauteileverwendung . . . . .	50
			6.	Konzepte und Projekte zur Altautodemontage . . . . .	52
			6.1	Automobilindustrie . . . . .	52
			6.1.1	Projekt Altfahrzeugverwertung der deutschen Automobilindustrie (PRAVDA) . . . . .	52
			6.1.2	Projekte der Automobilimporteure . . . . .	53
			6.2	Sonstige Initiativen . . . . .	54

6.2.1	Automobilrecycling im Verbund (ARIV) . . . . .	54	7.3	Modelle zur Erhebung der Entsorgungsgebühr . . . . .	64
6.2.2	Überregionale Konzepte . . . . .	56	8.	Metallurgisches Recycling . . . . .	66
6.2.3	Ausgewählte Einzelprojekte . . . . .	56	8.1	Vordemontage der Altautos . . . . .	66
6.2.4	Übersicht der Aktivitäten und Demontageanlagen . . . . .	58	8.2	Schmelzaggregat . . . . .	66
6.3	Ausgewählte Ergebnisse von Demontageprojekten . . . . .	59	8.3	Verfahrensbeschreibung . . . . .	67
6.3.1	Trockenlegung . . . . .	59	9.	Anforderungen an die Produktgestaltung . . . . .	68
6.3.2	Demontage . . . . .	60	9.1	Recyclinggerechte Konstruktion . . . . .	68
7.	Kostenbetrachtung . . . . .	63	9.2	Recyclinggerechte Werkstoffauswahl . . . . .	72
7.1	Beispielhafte Kostenbetrachtung einer Demontageanlage . . . . .	63	10.	Ausblick . . . . .	76
7.1.1	Investitionsplan . . . . .	63	11.	Literatur . . . . .	77
7.1.2	Betriebskosten . . . . .	63			
7.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des ARIV . . . . .	64			

## 1. Einleitung

Altautomobile setzen sich aus ca. 10.000 Teilen mit über 40 verschiedenen Werkstoffen zusammen. Die qualitativ hochwertigen Werkstoffe sowie die wiederverwendbaren Bauteile stellen einen bedeutenden Materialwert dar. Der größte Materialanteil des Altautos, Eisen und Stahl, wird als Schrott der Stahlerzeugung zugeführt. Zur Gewinnung dieser Materialfraktion werden traditionelle Verfahren der Zerkleinerung und Fraktionierung verwendet. Diese Verfahrensweisen zur Fahrzeugverwertung durch Shredderanlagen oder Schrottscheren ohne eine Vorbehandlung des Inputs entsprechen aufgrund des hohen Anfalls an Rückständen weder den heutigen umwelttechnischen noch wirtschaftlichen Anforderungen. Bedingt durch den Trend des verstärkten Einsatzes von Kunststoffen und anderen Leichtbaustoffen im Automobilbau steigt die zu deponierende Shredderabfallmenge – bei einer gleichzeitigen Verknappung des Deponieraumes – erheblich.

Der Shredderabfall setzt sich aus einem Gemisch überwiegend nichtmetallischer Materialien zusammen. Die größte Fraktion stellen die vielfältigen Kunststoffe dar. Durch die Mischung unterschiedlichster Materialien ist eine stoffliche Verwertung des Shredderabfalls nicht möglich. Erschwerend kommt die Kontamination mit Betriebsflüssigkeiten aus den Altautos hinzu, die durch ihre wasser- und gesundheitsgefährdenden Eigenschaften auch die oberirdische Ablagerung einschränken. Deshalb besteht häufig die Notwendigkeit, die Shredderabfälle durch Sonderabfall-Verbrennung zu entsorgen.

Die Gründe für den zunehmenden Einsatz von Kunststoffen klingen einleuchtend. Zum einen liegt der Energieaufwand zur Herstellung der Kunststoffe deutlich niedriger als bei anderen Materialien. Andererseits können die Kunststoffe fast nach Belieben mit den gewünschten Eigenschaften ausgestattet werden. Gewichtsvorteile, Festigkeit, Elastizität und die enorme Anpassungsfähigkeit in der Formgebung entsprechen den Anforderungen der Automobil-Konstrukteure. Als größtes Manko haftet den Kunststoffprodukten jedoch ihre eingeschränkte Verwertbarkeit nach Ende der Nutzung an.

Die Veränderungen der Fahrzeugzusammensetzung wirken sich auch nachhaltig auf die Wirtschaftlichkeit der gesamten Verwertungsbranche aus. Trotz des zunehmenden spezifischen Schrotteinsatzes bei der Stahlerzeugung wirkt sich die anhaltende Flaute auf dem Stahlmarkt negativ auf die Automobilverwertungsbranche aus. Der Anteil des Fe-Metalls an Kraftfahrzeugen, der den Haupteinlös bei der Autoverwertung durch Shredderanlagen trägt, ist weiterhin rückläufig, während der Anteil der kostenintensiv zu entsorgenden Kunststoffe steigt. Berücksichtigt man zudem die deutlich gestiegenen Aufbereitungskosten, die notwendigen Investitionen für Maßnahmen zur Umweltentlastung sowie die erheblich gestiegenen Entsorgungskosten der Shredderabfälle, so wird deutlich, daß die Shredder- und Autoverwertungsbe-

triebe zunehmend in wirtschaftliche Schwierigkeiten geraten.

In Anbetracht des steigenden Autowrackaufkommens sowie der ökologischen Probleme bei der Autoverwertung wurde im August 1990 vom Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eine Zielfestlegung der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung im Entwurf vorgelegt. Diese Zielfestlegung führte zu einer breiten Diskussion in den betroffenen Branchen, Verbänden und der Öffentlichkeit. Zur Umsetzung der Zielfestlegung wurden erste Konzepte und Vorstellungen einer zukünftigen Altautoverwertung durch die beteiligte Industrie erarbeitet. Aus dem Prozeß der Diskussion und der regelmäßigen Berichterstattung der betroffenen Industrie über Stand und Ergebnisse der Umsetzung wurde eine Verordnung über die Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung erarbeitet, die im Herbst 1992 im ersten Entwurf und im Januar 1994 in der jüngsten Fassung zur Diskussion zwischen Bundesregierung und den Ländern vorgelegt wurde. Darin sollen die Kraftfahrzeughersteller und der Kraftfahrzeughandel in Ausführung des § 14 AbfG zur Rücknahme und stofflichen Verwertung von Altfahrzeugen verpflichtet werden. Den betroffenen Industrien wird die Sicherstellung einer flächendeckenden Rücknahme von Altautos auferlegt.

Ein weiterer Motor zur Steigerung der Verwertungsraten mit dem Ziel des Recyclings soll das im März 1993 von der Bundesregierung vorgelegte Kreislaufwirtschaftsgesetz sein. In diesem wird die Verantwortlichkeit des Herstellers für sein Produkt nach Ende der Nutzung festgeschrieben. Grundziel des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes ist die abfallarme Gesellschaft. Erreicht werden soll dieses durch die Schließung von Produkt- und Stoffkreisläufen, d. h. die Rückführung von Reststoffen-, Abfällen- und nicht mehr genutzten Produkten in den Wirtschaftskreislauf zur Erzeugung neuer Güter. Nach Zustimmung des Bundestages und des Bundesrates soll dieses Gesetz voraussichtlich 1996 in Kraft treten und wird sich dann auch aufgrund der Produktverantwortung sowie der Verpflichtung zur Verwertung von Sekundärrohstoffen entscheidend auf das Recycling von Altautomobilen auswirken.

Eine Lösung der o. g. Probleme verbunden mit der Zielsetzung, die in Altfahrzeugen enthaltenen Bauteile und Werkstoffe in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen, bildet die Demontage und Trennung dieser Materialien voneinander. Diese Trennung muß soweit erfolgen, bis eine Verwertung der dabei entstehenden Fraktionen möglich wird. Die z. Z. wirtschaftlich realisierbare und ökologisch vertretbare Variante ist die Vordemontage der Altfahrzeuge in Kombination mit der bisher praktizierten Verwertungstechnik.

Zielsetzung der Demontage ist das Erfassen der in den Fahrzeugen enthaltenen Schadstoffkomponen-

ten, die sortenreine Trennung von Wertstoffen zur stofflichen Verwertung und die Gewinnung von Bauteilen zur Wieder- oder Weiterverwendung.

Dabei soll die Demontage die bisherigen Verfahren keineswegs ersetzen, sondern vielmehr eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Der Shredder wird weiterhin seine Aufgabe als zentrales Element der Aufbereitungskette behalten, da durch eine unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgelegte Demontage ohnehin nicht alle Materialien sortenrein separiert werden können. Dem Shredder nachgeschaltete Trennverfahren, z. B. Schwimm-Sink-Anlagen oder die Ne-Metall-sortierung mittels Lasertechnik usw., können mit Hilfe einer hochwertigen Vorsortierung hinsichtlich der Qualität des Outputs sowie der Wirtschaftlichkeit optimiert werden.

Ansätze der Automobilindustrie zur Errichtung von zentralen, herstellerebenen Großanlagen zur Demontage der Fahrzeuge wurden aufgrund logistischer Probleme wieder verworfen. Vielmehr wird von der Automobilindustrie ein flächendeckendes Netz selbstständiger, möglichst durch die Hersteller lizenzierter und vom Gesetzgeber mit umweltrelevanten Auflagen versehener Verwertungsbetriebe präferiert.

Seit 1990 werden von der Automobilindustrie und der Verwertungsbranche Konzepte zur Altautoverwertung

entwickelt. Diese umfassen die Logistik der Altfahrzeugetfassung, die Demontagetechniken sowie die Verwertungsmöglichkeiten der Werkstoffe und Bauteile. Anhand verschiedener Pilotprojekte sollen geeignete Techniken für eine wirtschaftliche Demontage entwickelt, konkrete Verwertungswege und -verfahren für die demontierten Wertstoffe gefunden und Erkenntnisse zur Konstruktion recyclingfreundlicher Neufahrzeuge erarbeitet werden.

Als Alternative zur umfangreichen Demontage wird das von Mercedes-Benz und der Voest-Alpine entwickelte metallurgische Recycling diskutiert, bei dem nur ein beschränktes Sortiment von Fahrzeugteilen vordemontiert wird, während Kunststoffe und andere organische Bestandteile des Fahrzeugs als Energieträger beim Einschmelzen der Karosserie dienen sollen.

Erste Ergebnisse aus den bislang betriebenen Pilotprojekten gehen zwar fortlaufend in die Automobilkonstruktion und die Serienfertigung ein, jedoch werden diese „recyclingfreundlicheren“ Fahrzeuge erst in 10 bis 15 Jahren zur Entsorgung anstehen. Bis dahin ist aber zunächst der größte Teil der derzeit in der Bundesrepublik betriebenen ca. 40 Mio. Fahrzeuge weitgehend zu verwerten und sind die nichtverwertbaren Reststoffe umweltschonend zu entsorgen.

## 2. Rechtliche Grundlagen

Die umweltschutzrechtlichen Anforderungen an die Kfz-Verwertungsbetriebe wurden innerhalb weniger Jahre sehr umfangreich ergänzt und zum großen Teil verschärft. Die generelle Zielrichtung aller Umweltschutzvorschriften für die Verwertungsbetriebe lautet:

- Separierung sämtlicher Abfälle, die nicht vermieden werden können, um eine Wiederverwertung zu ermöglichen;
- Vermeidung des unbeabsichtigten Verlustes von Betriebsstoffen in die Luft, den Boden, das Grundwasser und die Kanalisation;
- Begrenzung der unvermeidbaren Emissionen auf Werte, die durch den Stand der Technik vorgegeben sind.

### 2.1 Zulassungserfordernis für Kfz-Verwertungsbetriebe

Für die Beurteilung der Frage der abfallrechtlichen Zulassungspflicht einer Anlage zur Behandlung von Altfahrzeugen soll zunächst geklärt werden, inwieweit es sich bei Alt-Fahrzeugen um Abfall handelt.

Sofern sich der Besitzer eines Fahrzeuges des Wagens entledigen will und diesen deshalb einem Verwertungsbetrieb zuführt, fällt das Fahrzeug unter den subjektiven Abfallbegriff des § 1 Abs. 1 (1. Alternative), der allein auf den Entledigungswillen des Besitzers abstellt. Aus § 4 Abs. 1 und § 7 des Abfallgesetzes (AbfG) [2.1] folgt danach zwingend die abfallrechtliche Zulassungspflicht einer Verwertungsanlage, da sie der Behandlung von zu Abfällen gewordenen Pkws dient.

Gemäß § 5 Abs. 2 AbfG gelten grundsätzlich alle Fahrzeuge als Abfälle, die ohne gültige amtliche Kennzeichen auf öffentlichen Flächen oder außerhalb von Ortschaften abgestellt und von ihren Haltern nicht innerhalb einer gesetzten Frist entfernt worden sind.

Allerdings reicht allein die Anbringung einer Aufforderung und die Nichtbefolgung der Entfernungsaufforderung für die Begründung der Abfalleigenschaft nicht aus. Vielmehr dürfen auch keinerlei Anhaltspunkte dafür sprechen, daß das Fahrzeug noch bestimmungsgemäß, d. h. zum Zweck der Fortbewegung, genutzt wird. Bis zur endgültigen Klärung handelt es sich bei dem Fahrzeug nicht um Abfall. Gleiches gilt auch dann, wenn objektive Anhaltspunkte dafür sprechen, daß das Fahrzeug gestohlen wurde, und dem Fahrzeughalter der Verbleib des Wagens nicht bekannt ist.

Erst wenn die Behörde das Vorliegen der Voraussetzungen des § 5 Abs. 2 AbfG geprüft und das Fahrzeug zur Entsorgung freigegeben hat, gilt dieses Fahrzeug als Abfall.

Unabhängig von der Frage, ob die in der Anlage zu behandelnden Fahrzeuge Abfall im Sinne der § 1 Abs. 1 bzw. § 5 Abs. 2 AbfG oder aber Wirtschaftsgüter sind, besteht die abfallrechtliche Zulassungspflicht einer Altautoverwertungsanlage bereits aus der Anwendbarkeit des § 5 Abs. 1 AbfG.

Aus dieser Vorschrift ergibt sich, daß es unerheblich ist, ob die angelieferten Fahrzeuge unter den subjektiven oder objektiven Abfallbegriff fallen, ob sie dem Anwendungsbereich des § 5 Abs. 2 AbfG unterfallen oder ob sie noch als Wirtschaftsgüter anzusehen sind und damit dem Regime des Abfallgesetzes entzogen sind. Vielmehr folgt aus § 5 Abs. 1 AbfG, daß Anlagen zur Behandlung bzw. Lagerung von Autowracks den herkömmlichen Abfallentsorgungsanlagen gleichgestellt sind. Dies hat zur Konsequenz, daß sich die Zulassungspflicht auch auf solche Anlagen erstreckt, die der Lagerung bzw. Behandlung von Autowracks dienen.

Nach § 5 Abs. 1 AbfG ist also für die Frage der Zulassungspflicht einer Anlage allein maßgeblich, ob es sich bei den in der Anlage zu behandelnden Fahrzeugen um Autowracks handelt.

Nachdem sich verschiedene Oberverwaltungsgerichte mit der Auslegung des Begriffes Autowrack beschäftigt haben, ist nunmehr von einer gefestigten Rechtsprechung in diesem Punkt auszugehen. Hiernach sind unter Autowracks - entsprechend dem umgangssprachlichen Wortsinne - nicht mehr fahrfähige Kraftfahrzeuge zu verstehen, deren Reparatur wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll ist. Erfasst werden also alle Fahrzeuge, die keinem anderen Zweck als der reinen Materialverwertung (Ausschlachtung und Verschrottung) dienen oder dienen können.

Hierbei hat sich die Beurteilung der Frage, ob eine Reparatur noch als wirtschaftlich sinnvoll anzusehen ist, an einem objektiven (nach der Verkehrsanschauung zu bemessenden) Maßstab zu orientieren.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die abfallrechtliche Zulassungspflicht einer Autodemontageanlage unter allen nur denkbaren Gesichtspunkten nicht zweifelhaft sein kann, da:

- die angelieferten Fahrzeuge bereits dem Abfallbegriff des § 1 Abs. 1 AbfG unterliegen oder aber
- die wild abgestellten Fahrzeuge unter den genannten Einschränkungen zu Abfall geworden sind.
- Schließlich findet § 5 Abs. 1 AbfG in allen Fällen Anwendung, in denen zwar die Abfalleigenschaft der Fahrzeuge nicht immer zweifelsfrei feststeht, aber immerhin davon auszugehen ist, daß die Fahrzeuge nicht mehr fahrtüchtig und auch nicht wirtschaftlich sinnvoll instandsetzungsfähig sind.

Demnach finden auf Anlagen zur Behandlung von Altfahrzeugen die Vorschriften über Abfallentsorgungsanlagen Anwendung [2.2].

Auch das Ausschlachten von Autowracks stellt nach der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichtes und einiger Oberverwaltungsgerichte eine Behandlung im Sinne des § 5 Abs. 1 AbfG dar. Unter Ausschlachten wird in den der Rechtsprechung zugrundeliegenden Fällen verstanden, beschädigte Fahrzeuge anzukaufen, Teile auszubauen, zu lagern und weiterzuverwerten. Dabei ist, gemäß eines Urteils des Hessischen Verwaltungsgerichtshofs [2.3],

das Vorhandensein baulicher Anlagen, technischer Geräte oder sonstiger Einrichtungen für die Entscheidung, ob es sich um eine Abfallentsorgungsanlage im Sinne der § 4 Abs. 1 und § 5 Abs. 1 des Abfallgesetzes handelt, nicht notwendig. Allerdings werden Kfz-Werkstätten, die gelegentlich hochwertige Unfallfahrzeuge zur Ersatzteilgewinnung verarbeiten, nicht als Abfallbehandlungsanlagen gewertet, da der Zweck dieser Anlagen vornehmlich zur Instandsetzung von Fahrzeugen genutzt wird. Für den Anlagenbegriff nach § 5 Abs. 1 AbfG ist entscheidend, daß ein Grundstück oder Grundstücksteil ständig zur Lagerung oder Behandlung von Autowracks benutzt oder durch diese Nutzung geprägt wird. Eine Anlage dient nach Auffassung der Richter auch dann schon der Lagerung von Autowracks, wenn jedes Wrack sich nur für kurze Zeit in der Anlage befindet. Das Pressen von Autowracks zur Verkleinerung ihres Volumens ist in jedem Fall eine abfallrechtlich bedeutsame Handlung [2.4].

### **Zulassungserfordernis nach Abfallgesetz**

Mit dem Inkrafttreten des Gesetzes zur Erleichterung von Investitionen und der Ausweisung und Bereitstellung von Wohnbauland (Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz) [2.5] vom 22. April 1993 wird die Zulassung von Abfallentsorgungsanlagen neu geregelt. Wie vorstehend erläutert, gelten Anlagen zur Behandlung oder Lagerung von Autowracks als Abfallentsorgungsanlagen. Deshalb ist der § 7 AbfG anzuwenden. Vor Inkrafttreten des o. g. Gesetzes bedurfte die Errichtung und der Betrieb von Abfallentsorgungsanlagen der Planfeststellung incl. Umweltverträglichkeitsprüfung durch die zuständige Behörde. In bestimmten Fällen war nach § 7 Abs. 2 an Stelle eines Planfeststellungsverfahrens ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren möglich.

Durch das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz wird der § 7 AbfG wie folgt geändert:

#### *Zulassung von Abfallentsorgungsanlagen*

(1) „Die Errichtung und der Betrieb von ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung oder Behandlung von Abfällen sowie die wesentliche Änderung einer solchen Anlage oder ihres Betriebes bedürfen der Genehmigung nach den Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; einer weiteren Zulassung nach diesem Gesetz bedarf es nicht. § 6 AbfG findet Anwendung.“

Da eine weitere Zulassung nach AbfG nicht notwendig ist, entfällt die Gültigkeit des § 8 AbfG, in dem die Anforderungen an Abfallentsorgungsanlagen geregelt wurden.

Ein Planfeststellungsverfahren entsprechend § 7 AbfG ist nur noch für Deponien notwendig.

### **Zulassungserfordernis nach Bundes-Immissionsschutzgesetz**

Das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz ändert den § 4 BImSchG [2.6] in der Weise, daß Abfallentsorgungsanlagen ausdrücklich als genehmigungsbedürftig genannt werden:

„Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen, die auf Grund ihrer Beschaffenheit oder ihres Betriebes in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelt-

einwirkungen hervorzurufen oder in anderer Weise die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft zu gefährden, erheblich zu benachteiligen oder erheblich zu belästigen, sowie von ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung oder Behandlung von Abfällen bedürfen einer Genehmigung. Mit Ausnahme von Abfallentsorgungsanlagen bedürfen Anlagen, die nicht gewerblichen Zwecken dienen und nicht im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden, der Genehmigung nur, wenn sie in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen oder Geräusche hervorzurufen“.

In den §§ 5 und 6 BImSchG werden die Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen sowie die Genehmigungsvoraussetzungen geregelt. Die §§ 10 und 19 schreiben das Genehmigungsverfahren vor.

Welche Anlagen nach BImSchG genehmigungsbedürftig sind, ist in der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV) [2.7] festgeschrieben. Aufgrund des § 19 BImSchG ist in der 4. BImSchV vorgeschrieben, „... daß die Genehmigung von Anlagen bestimmter Art oder bestimmten Umfangs in einem vereinfachten Genehmigungsverfahren erteilt wird, sofern dies nach Art, Ausmaß und Dauer der von diesen Anlagen hervorgerufenen schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen mit dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vereinbar ist“. Dies gilt auch für Abfallentsorgungsanlagen.

Das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz ändert in Artikel 9 die 4. BImSchV in der Weise, daß im Anhang unter der Nummer 8 Anlagen „zur Verwertung und Beseitigung von Reststoffen und Abfällen“ als genehmigungsbedürftig aufgenommen werden. Unter Nummer 8.9 Spalte 2 werden Anlagen zur Lagerung oder Behandlung von Autowracks als genehmigungsbedürftig nach BImSchG festgeschrieben.

Die Nummer 3.14 der 4. BImSchV bleibt unberührt. Für die Behandlung von Autowracks trifft Nr. 3.14 der 4. BImSchV zu, wenn es sich um eine Anlage zum Zerkleinern von Schrott durch Rotormühlen (Shredderanlagen) handelt.

Die Art des Zulassungsverfahrens wird bestimmt durch die Zuordnung der genehmigungsbedürftigen Anlage in die Spalte 1 oder 2 des Anhanges der 4. BImSchV. Anlagen zur Lagerung oder Behandlung von Autowracks sind in die Spalte 2 eingeordnet und somit nach dem vereinfachten Verfahren entsprechend § 19 BImSchG (s. o.) zu genehmigen, sofern nicht Teilanlagen nach Spalte 1 in die Gesamtanlage integriert sind. Das kann vor allem dann der Fall sein, wenn Anlagen zum Zerkleinern von Schrott durch Rotormühlen mit einer Nennleistung von  $\geq 500$  kW in die Behandlungsanlage integriert sind. Diese sind im Anhang der 4. BImSchV unter Spalte 1 eingeordnet.

### **2.2 Weitere rechtliche Bestimmungen**

Aus den gesetzlichen Rahmenbedingungen ergeben sich für die Ausrüstung und die Arbeitsvorgänge in den Altautoverwertungsbetrieben eine Vielzahl von Vorgaben zum Umwelt- und Arbeitsschutz. Diese Anforderungen sind in der Tabelle 2.1 aufgeführt.

**Tabelle 2.1: Rechtliche Bestimmungen zum Bereich Lärm- und Arbeitsschutz**

Geltungsbereich	Rechtliche Bestimmungen
Lärm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bundes-Immissionsschutzgesetz [2.6]</li> <li>- Technische Anleitung Lärm [2.12]</li> <li>- Regelungen zum Industrie- und Gewerbelärm</li> </ul>
Arbeitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Allgemein anerkannte Regeln der Technik</li> <li>- DIN-Normen, VDE-Bestimmungen</li> <li>- Gefahrstoffverordnung [2.13]</li> <li>- Arbeitssicherheitsgesetz [2.15]</li> <li>- Verordnungen, Richtlinien, Regeln, Merkblätter zu speziellen Bereichen</li> <li>- Arbeitsstättenverordnung [2.14]</li> <li>- Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften auf Grund der Reichsversicherungsordnung [2.16]</li> </ul>

**2.3 Merkblatt der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall**

Die Anforderungen hinsichtlich der Errichtung und des Betriebes von Anlagen zur Lagerung und Behandlung von Autowracks sind im Merkblatt Autowracks [2.8] der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) formuliert. Dieses Merkblatt wurde 1977 von der LAGA gebilligt und dessen Einführung in den Ländern vorgeschlagen. Mehrere Bundesländer haben daraufhin die Beachtung des Merkblattes empfohlen.

Neben einer Beschreibung von Standortkriterien sowie der erforderlichen Platzgröße und -aufteilung wird hier die notwendige technische Ausstattung aufgelistet. So werden für die Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Betriebes u. a. ausreichend große, befestigte, über Leichtstoffabscheider entwässerte und ggf. mineralöldichte Flächen für die Zwischenlagerung, Behandlung und Lagerung der Teile gefordert. Weiterhin benötigt werden Lager für wassergefährdende Stoffe, ausreichende Fahrwege, Feuerlöscheinrichtungen, Betriebsgebäude mit den erforderlichen Sozialräumen sowie eine ausreichende Ausleuchtung und Umzäunung des Geländes.

Die allgemeinen Anforderungen an den Betrieb lauten:

Ein Autowrackplatz ist so zu betreiben und zu unterhalten, daß die von der zuständigen Behörde geforderten Auflagen, insbesondere

- die für den Betrieb der Anlage zugelassenen Emissions- und Immissionsgrenzwerte (Luftreinhaltung) und Immissionsrichtwerte (Lärmschutz),
  - die zum Schutz des Grundwassers und oberirdischer Gewässer vorgeschriebenen Maßnahmen,
  - die zugelassenen Lagerflächen und die festgelegten Stapelhöhen für Autowracks, ausgebaute Teile und feste Abfälle
  - und die Vorkehrungen zum Schutz des Personals
- stets eingehalten werden können.

Desweiteren werden die Anforderungen hinsichtlich Transport, Lagerung und Vorbehandlung der Auto-

wracks, dem Behandeln von wiederverwertbaren Stoffen und dem Beseitigen von Abfällen sowie der Wartung und Überwachung der Anlage beschrieben.

Der Transport, die Lagerung und Vorbehandlung soll so erfolgen, daß keine wassergefährdenden Flüssigkeiten auslaufen. Aus den angelieferten Autowracks sind die Flüssigkeiten sowie die Batterie unverzüglich zu entfernen und in dafür vorgesehene Behälter zu leiten. Die Volumenreduzierung (Presse, Schrottschere) der Autowracks darf nur auf dafür vorgesehenen Flächen erfolgen. Die anfallenden Altreifen sind, soweit sie nicht mit den vorbehandelten Wracks abgegeben werden, einer zugelassenen Altreifenaufbereitungs- oder beseitigungsanlage zuzuführen oder der entsorgungspflichtigen Körperschaft zu überlassen.

Altöle und Treibstoffe sind entsprechend Altölgesetz zu entsorgen. Die Brems-, Hydraulik- und Kühlflüssigkeiten sind den entsprechenden Aufbereitungs- bzw. Beseitigungsanlagen zuzuführen. Die sonstigen, bei der Behandlung von Autowracks anfallenden Abfälle, sind der entsorgungspflichtigen Körperschaft zu überlassen.

Folgende ständige Kontrollen und Wartungsarbeiten sind durchzuführen:

- Prüfung der Wirksamkeit von Sicherungsvorkehrungen zum Schutze des Personals,
- Funktionsprüfung und rechtzeitige Leerung der Leichtflüssigkeitsabscheider. Der Abschluß eines Wartungsvertrages wird empfohlen.
- Prüfung der Einsatzbereitschaft der Feuerlöschvorrichtungen,
- Sauberhalten der Zu- und Abfahrt zwischen dem Autowrack-Platz und der Einmündung in die öffentliche Straße sowie der befestigten Flächen innerhalb des Betriebsgrundstückes,
- Kontrolle der Unversehrtheit der Einfriedungen des Autowrack-Platzes.

Zur Überwachung kann dem Betreiber eines Autowrack-Platzes die Führung eines Nachweisbuches über die Art, Menge und Beseitigung der Abfälle, die nicht mit den in Haushaltungen anfallenden Abfällen beseitigt werden, gemäß § 11 Abs. 3 AbfG auferlegt werden.

Es wird empfohlen, für die nach § 3 Abs. 3 AbfG ausgeschlossenen, wassergefährdenden Flüssigkeiten diesen Nachweis zu fordern. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, daß ein Betrieb auch zur Nachweisführung über den Verbleib des Altöls entsprechend der Altölverordnung verpflichtet werden kann.

**2.4 Entwürfe von Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zur Altautoverwertung**

Die z. Z. in der Bundesrepublik Deutschland in Gang gekommene Konkretisierung des Abfallrechts führte zur Verabschiedung von neuen rechtlichen Regelungen (z. B. Verpackungsverordnung, TA Siedlungsabfall). Z. Z. liegt ein Entwurf zur Novellierung des Abfallgesetzes (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) vor. Die Problematik der Altautoverwertung schlägt sich in den Entwürfen der TA Shredderrückstände und der Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung (AltautoV) nieder. Der nachfolgend

beschriebene Entwicklungsstand repräsentiert den Stand der Diskussion bis Herbst 1993.

In Anbetracht der erheblichen Umweltprobleme durch die Entsorgung von Altfahrzeugen, wurde im August 1990 vom Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eine Zielfestlegung der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung im Entwurf vorgelegt [2.17]. Somit sollen die Kraftfahrzeughersteller und der Kraftfahrzeughandel in Ausführung des § 14 AbfG zur Rücknahme und stofflichen Verwertung von Altfahrzeugen verpflichtet werden. Den betroffenen Industrien wurde die Erarbeitung eines flächendeckenden Rücknahmesystems auferlegt.

Durch den Verband der Automobilindustrie wurde daraufhin ein Konzept zur zukünftigen Altfahrzeugverwertung vorgelegt, das in den wesentlichen Punkten der Zielfestlegung der Bundesregierung entsprach. Darüber hinaus wurde anlässlich der Internationalen Automobil Ausstellung 1991 in Frankfurt von einigen deutschen Herstellern eine Garantie für die kostenlose Rücknahme bestimmter Modelle ausgesprochen. Erste Demontageprojekte der Automobilindustrie wurden bereits 1990 gestartet.

Aus der regelmäßigen Berichterstattung der betroffenen Industrie über Stand und Ergebnisse der Umsetzung sowie aus der Diskussion mit verschiedenen Fachverbänden, wurde die Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung (AltfahrzeugV) auf Grundlage des § 14 des Abfallgesetzes erarbeitet, die im Herbst 1992 im Entwurf vorgelegt wurde. Im Januar 1994 erschien die jüngste Fassung des Entwurfes, der sich z. Z. in der inhaltlichen Abstimmung zwischen Bund und Ländern befindet.

Grundsätzlich stimmt die Automobilindustrie nach eigenem Bekunden mit der umweltpolitischen Zielrichtung der Bundesregierung, die Abfallmenge zu reduzieren, überein. Allerdings werden kontroverse Diskussionen darüber geführt, wie dieses Ziel erreicht werden soll.

#### 2.4.1 Altfahrzeugverordnung

In der nachfolgenden Übersicht sind die wesentlichen Aussagen des Entwurfes einer Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen aus der Altfahrzeugentsorgung aufgeführt [2.9].

- Abfallwirtschaftliche Ziele sind die Vermeidung und die Verringerung von Reststoffen durch recycling-günstige Konstruktionen und eine einheitliche Kennzeichnung der Bauteile und Materialien, die die stoffliche Verwertung erleichtern.
- Der Hersteller von Kraftfahrzeugen oder sein Rechtsnachfolger ist verpflichtet, Altfahrzeuge seiner Automarke vom Letztbesitzer zurückzunehmen.
- Die Rücknahme der Altfahrzeuge durch den Hersteller und Vertreiber hat für den Letztbesitzer grundsätzlich kostenlos zu erfolgen.  
Ausnahme: Ausgeschlachtete Fahrzeuge; mit Fremdstoffen beladene Autos; Unfallfahrzeuge, bei denen eine Demontage nicht möglich ist; vor Inkrafttreten der Verordnung zugelassene Fahrzeuge, soweit der Hersteller hierfür Typ, Baujahr, durchschnittlichen Werterlös und durchschnittlichen Entsorgungsbetrag veröffentlicht hat.

- Rücknahme von gebrauchten Bauteilen beim Verkauf eines entsprechenden Bauteils vom Endverbraucher durch Vertreiber von Ersatz-, Austausch- und Zubehörteilen. Ausgenommen sind Teile, die ein Gewicht von 500 g nicht überschreiten.
- Zurückgenommene Altfahrzeuge, Ersatz-, Austausch- teile, Zubehör und sonstige Bauteile sind soweit möglich einer Wiederverwendung oder einer Verwertung zuzuführen.
- Zurückgenommene Altfahrzeuge sind grundsätzlich von ihren Betriebsstoffen getrennt nach dem jeweiligen Betriebsstoff zu befreien.
- Zurückgenommene Altfahrzeuge sind soweit zu demontieren, wie es für die Wiederverwendung von Bauteilen, die Verwertung oder die umweltverträgliche Entsorgung erforderlich ist.
- Im Rahmen der Verwertungspflichten ist eine Wiederverwendung bzw. Verwertung zumindest in der in der Tabelle 2.2 dargestellten Größenordnung anzustreben.
- Hersteller von Automobilen haben bei der zuständigen Behörde einen Nachweis über die Rücknahmestellen, über die erfaßten Automobile, über die wiederverwendeten, stofflich oder energetisch verwerteten und über die einer umweltverträglichen Entsorgung zugeführten Mengen zu erbringen.
- Die Hersteller haben sich dazu der Kontrolle durch unabhängige Sachverständige zu unterziehen.
- Bei der Beauftragung Dritter hat der Hersteller durch ein Gutachten eines Sachverständigen zu belegen, daß der Verwerterbetrieb die Anforderungen der Altfahrzeugverordnung erfüllt.
- Der Letztbesitzer hat dem Hersteller, einem von diesem beauftragten Dritten oder einem sonstigen (anerkannten) Verwerterbetrieb das Altfahrzeug so zu überlassen, daß eine umweltverträgliche Entsorgung gewährleistet ist.

Von Seiten der Automobilindustrie wird kritisiert, daß die Verpflichtung zu einer kostenlosen Rücknahme von Altfahrzeugen den Wettbewerb bei der Autoverwertung einengen und die Ausschöpfung der durch technischen und organisatorischen Fortschritt erzielten Kostenvorteile erschwere. Die vom Letztbesitzer

Tabelle 2.2: Verwertungsziele der Altfahrzeugverwertung [2.9]

Materialfraktion	Wiederverwertung und Verwertung in Gew.-%	
	1997	2000
Stahl	ca. 100	ca. 100
NE-Metalle	85	90
Kunststoffe ohne Elastomere	20	80
Reifen	70	80
Sonstige Elastomere	20	50
Glas	30	60
Sonstige Fraktionen	30	50

bei Übergabe des Fahrzeuges heute in der Regel noch erzielte Vergütung oder der möglicherweise zu entrichtende Entsorgungspreis beeinflussen über den Gebrauchtwagenpreis auch den Wettbewerb auf dem Neuwagenmarkt. Da dieser Beitrag auch von den Wiederverwertungsmöglichkeiten des jeweiligen Modells abhängig ist, werden so die Anstrengungen der Automobilhersteller zum recyclingfreundlichen Konstruieren vom Markt honoriert.

Somit trägt die freie Preisbildung, nach Meinung der Automobilindustrie, zur Durchsetzung umweltfreundlicher und wirtschaftlicher Recyclingverfahren bei. Bei knapper werdendem Deponieraum und anstehenden Deponiekosten entsteht für die Autoverwertungsbetriebe zudem ein Anreiz, möglichst viele Materialfraktionen einer Wiederverwertung zuzuführen.

Die generelle Rücknahmeverpflichtung zielt nach Meinung der Automobilindustrie darauf ab, Versäumnisse des Gesetzgebers bei der Überwachung des Abfallrechts zu beseitigen und stellt einen ordnungspolitisch verfehlten Weg dar. Die Versäumnisse liegen nach Meinung der Industrie vor allem darin, daß eine Rücknahmeverpflichtung vorgesehen werde, gleichzeitig aber auch sonstige Verwertungsbetriebe zugelassen werden; also Betriebe, auf die die Industrie keinen Einfluß hat. Ohne diesen Einfluß ist die Industrie jedoch nicht bereit Verantwortung zu übernehmen, da sie die Betriebe nicht dazu verpflichten kann, umweltgerecht zu arbeiten, und die Materialien der Wiederverwertung zuzuführen.

Nach Schätzungen arbeiten allenfalls ein Drittel der etwa 5000 bundesdeutschen Verwertungsbetriebe entsprechend den gesetzlichen Vorschriften und verfügen über eine abfallrechtliche Zulassung sowie eine Ausstattung und Arbeitsweise entsprechend dem Merkblatt Autowracks der Länderarbeitsgemeinschaft Abfallbeseitigung [2.8].

#### 2.4.2 Technische Anleitung Shredderrückstände

Im Entwurf liegt auch die „Technische Anleitung zur Verwertung und sonstigen Entsorgung von Shredderrückständen“ [2.10] vor. In dieser Verwaltungsvorschrift sollen bundeseinheitliche Anforderungen für die Verwertung, thermische Behandlung oder oberirdische Ablagerung von Shredderrückständen auf Deponien festgelegt werden. Die Anwendung dieser

Technischen Anleitung erstreckt sich sowohl auf den Bereich des Abfallgesetzes als auch auf den des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Insbesondere bei der Entscheidung über die Zulassung von Abfallentsorgungsanlagen (§ 48 BImSchG) und bei der Überwachung der Entsorgung (§ 11 AbfG, Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung [2.11]) gelten die in der Technischen Anleitung genannten Anforderungen.

Die Regelung über die Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 des BImSchG und die Anforderungen an die Entsorgung von Shredderrückständen aufgrund anderer Vorschriften (z. B. TA Abfall) bleiben unberührt.

Die geplante Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen aus der Altau- toentsorgung (Altautoverordnung, vgl. 2.4.1) wird gemäß Abfallgesetz, das die Vermeidung und Verwertung fest schreibt, Vorrang vor der TA-Shredderrückstände haben. Entsprechend Abfallgesetz (AbfG) hat das Verwertungsgebot Vorrang vor der thermischen Behandlung oder oberirdischen Ablagerung. Ist eine Verwertung der Shredderrückstände nicht möglich, sind diese durch thermische Behandlung zu entsorgen. Die fehlenden Verwertungsmöglichkeiten müssen nachgewiesen werden (Entsorgungsnachweis).

Wenn eine thermische Behandlung nicht möglich ist, können Shredderrückstände oberirdisch abgelagert werden. Dies ist nur dann zulässig, wenn die festgelegten Zuordnungswerte für polychlorierte Biphenyle (PCB) und Kohlenwasserstoffe (KW) nicht überschritten werden:

- PCB-Gehalt in mg/kg: 10
- KW-Gehalt in Gew.-%: 4

Darüber hinaus gelten alle Grenzwerte der TA Siedlungsabfall. Nach Aussage des Umweltbundesamtes soll die Technische Anleitung Shredderrückstände zeitgleich mit der Altautoverordnung in Kraft gesetzt werden [2.18].

Damit werden die Zuordnungswerte gleichzeitig mit der Altautoverordnung wirksam. Im Anhang der TA Shredderrückstände werden geeignete Maßnahmen zur Einhaltung der Zuordnungswerte genannt sowie die Verfahrensweisen und Techniken zur Probenahme beschrieben.

### 3. Gegenwärtige Situation der Altautoverwertung

#### 3.1 Aufkommen an Altfahrzeugen

Die Pkw-Zulassungszahlen in der Bundesrepublik Deutschland konnten in den letzten Jahren hohe Steigerungsraten verzeichnen. So wurde im Jahr 1991 mit 4,2 Mio. Neufahrzeugen ein absoluter Spitzenwert erreicht [3.1]. Großen Anteil daran hatte vor allem der erhebliche Erneuerungsbedarf in den neuen Bundesländern. Im Jahr 1992 setzte konjunkturell bedingt ein Umsatzrückgang auf dem Automobilmarkt ein, der sich 1993 fortsetzte. So wurden 1992 3,9 Mio. Neufahrzeuge (Pkw) zugelassen. Im Zeitraum Januar bis Juli '93 wurden ca. 2 Mio. neue Pkw zugelassen. Das bedeutet einen Rückgang um 20 % zum Vergleichszeitraum '92 [3.2]. Legt man, dies berücksichtigend, eine Steigerungsrate von jährlich ca. 2 % zu Grunde, läßt sich für das Jahr 1993 ein Bestand an Pkws in der Bundesrepublik von ca. 40 Mio. Stück schätzen. Nach Mitteilung des statistischen Bundesamtes belief sich der Bestand an Personenkraftwagen im Juli 1993 auf ca. 38,8 Mio. Stück, so daß die Steigerung auf ca. 40 Mio. zum Jahresende wahrscheinlich ist. Die durchschnittliche Lebensdauer der Pkws in den alten Bundesländern betrug 1990 10,9 Jahre [3.3]. Die Entwicklung des Bestandes und der Löschungen an Pkw ist in Bild 3.1 dargestellt.

In den neuen Bundesländern erreichten 1991/92 die Erneuerungszahlen an Pkw ihren Höhepunkt, was sich deutlich auf die Steigerung der Neuzulassungen im gesamten Bundesgebiet auswirkte. Gleichermäßen stieg auch die Zahl der Pkw-Löschungen. Das Durchschnittsalter dieser Fahrzeuge war bedeutend höher, da in der ehemaligen DDR die durchschnittlichen Laufzeiten von Fahrzeugen bei 13 – 25 Jahren lagen. Außerdem wurden in den Jahren 1990 – 1992 große Mengen überlagerter Gebrauchtwagen in den neuen Bundesländern verkauft. Diese stehen z. Z. und in den folgenden Jahren in großem Maße zur Entsorgung an und stellen, neben der Umweltbela-

stung, ein wirtschaftliches Problem für die Altautoverwertung dar. Sowohl Bauteile als auch ein Teil der Werkstoffe (schwer identifizierter Kunststoffe, Verbunde u. ä.) stellen auf Grund des Alters nur einen geringen Wert dar.

Im Jahre 1992 betrug die Lösungsquote ca. 6,5 %. Legt man für 1993 die Quote von 1992 zugrunde, werden in diesem Jahr ca. 2,7 Mio. Pkw stillgelegt, von denen bis zu 90 % zur Entsorgung anstehen. Bis zum Jahr 2000 kann mit einem jährlichen Ersatzbedarf von durchschnittlich 3 Mio. Pkw gerechnet werden [3.3].

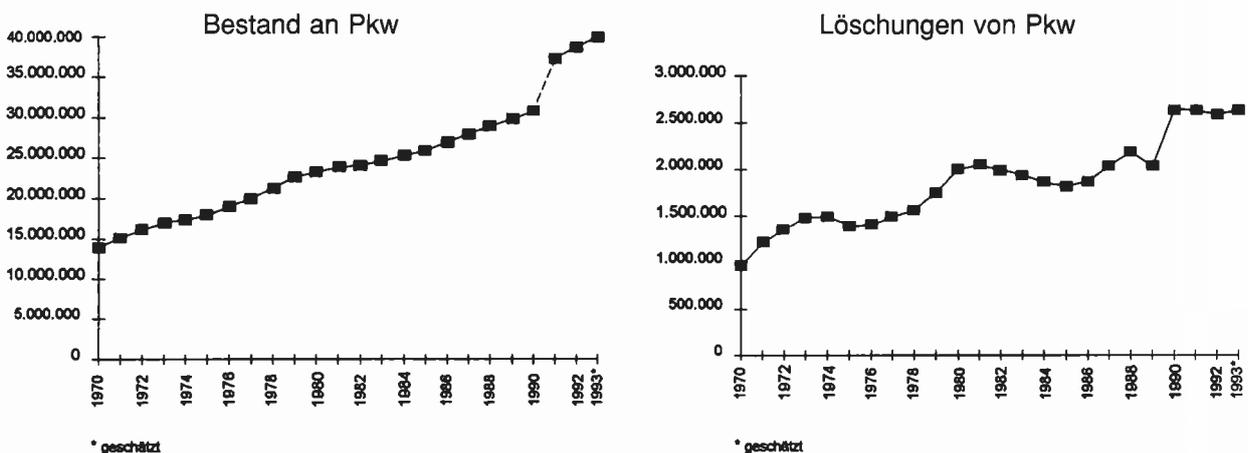
#### 3.2 Materialzusammensetzung und Bestandteile der Fahrzeuge

Bedingt durch die Entwicklungen im Automobilbau hat sich die Zusammensetzung der Fahrzeuge stetig und stark geändert. Davon betroffen sind im Besonderen die Komponenten der Fe-Metalle und Kunststoffe, da der Anteil der Fe-Metalle, zugunsten eines steigenden Kunststoffanteils, stetig abnimmt. Tabelle 3.1 zeigt die geschätzten Materialanteile am Leergewicht von Personenkraftwagen bei ihrer Verschrottung.

Während die in den Jahren 1980/1985 verschrotteten Pkws (Herstellungsjahr ca. 1970/75) sich zu rund 70 Gew.-% aus Stahl und Gußeisen und nur zu 5 Gew.-% aus Kunststoffen zusammensetzten, werden die Pkws bis zum Jahr 2000 lediglich noch aus ca. 58 Gew.-% Eisenmetallen, und aus bis zu 16 Gew.-% Kunststoffen bestehen. Einige Fachleute prognostizieren Kunststoffanteile von bis zu 25 %.

Gründe für diese Entwicklung liegen vorwiegend in dem Bestreben, das Fahrzeuggewicht zu reduzieren und somit den Kraftstoffverbrauch zu senken. Für den verstärkten Einsatz von Kunststoffen im Automobilbau sprechen neben der Gewichtsreduzierung die Korrosionsbeständigkeit, eine größere Designfreiheit

Bild 3.1: Entwicklung des Bestandes und der Löschungen an PKW in der Bundesrepublik Deutschland



**Tabelle 3.1: Geschätzte Materialanteile am Leergewicht von PKWs bei ihrer Verschrottung; durchschnittliche Lebensdauer etwa zehn Jahre [3.21]**

Materialien	Verschrottungsjahr					
	1980/85		1990/95		2000	
	[kg]	[Gew.-%]	[kg]	[Gew.-%]	[kg]	[Gew.-%]
Stahl	560	55,1	535	53,0	465	47,0
Gußeisen	142	14,0	126	12,5	109	11,0
NE-Metalle	45	4,5	53	5,2	59	6,0
Gummi	53	5,2	51	5,0	50	5,0
Kunststoffe	45	4,5	91	9,0	158	16,0
Glas	40	3,9	40	4,0	40	4,0
Sonstiges	130	12,8	114	11,3	109	11,0
Gesamt	1015	100,0	1010	100,0	990	100,0

sowie deren breites Anwendungsspektrum. Während bisherige Einsatzbereiche für Kunststoffe nichttragende Teile wie Stoßstangen, Spoiler, Benzintanks, Unterbodenverkleidungen und Zierleisten waren, werden künftig auch Kotflügel, Türen, Front- und Heckverkleidungen aus Kunststoffen hergestellt, bis hin zu Motor- und Fahrwerkteilen, die aus hochwarmfesten Thermoplasten bestehen.

Nach Einschätzung des Umweltbundesamtes [3.8] sind bei der Automobilentwicklung aufgrund der Diskussion des Entwurfs der Altautoverordnung gegenwärtig jedoch Stagnationstendenzen des künftigen Kunststoffeinsatzes im Automobilbau erkennbar.

Derzeit werden ca. 20 – 30 verschiedene Basiskunststoffe im Automobilbau eingesetzt, die jedoch vielfach mit unterschiedlichen Füllstoffen und in Form von Gemischen, sogenannten Blends, verwendet werden.

Der Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) empfiehlt die Kennzeichnung der Kunststoffteile entsprechend der DIN 7728-Teil1 mit dem Ziel der sortenreinen Trennbarkeit von polymeren Werkstoffen [3.17]. Die Tabelle 3.2 gibt die in Kraftfahrzeugen eingesetzten Kunststoffe und deren Abkürzungen wieder.

Bis Mitte der achtziger Jahre wurden ca. 60 Gew.-% der verwendeten Kunststoffe im Innenausstattungs-bereich und ca. 18 Gew.-% für die Karosserie eingesetzt. Durch den zunehmenden Einsatz von Kunststoffen im Karosseriebereich (Stoßfänger, Radhaus-schalen, Unterbodenverkleidungen usw.) verschieben sich die Verhältnisse. Die durchschnittliche Verteilung der Kunststoffe am Automobil (Baujahr '89) ist dem Bild 3.2 zu entnehmen.

Die Tabelle 3.3 zeigt Anteile und typische Einsatzorte der verschiedenen Kunststoffarten bei einem deutschen Pkw (Mittelwerte, aus [3.22]).

Bei den verwendeten Kunststoffen handelt es sich überwiegend um technische Spezialanfertigungen, die für den jeweiligen Anwendungszweck aufwendig optimiert werden. Dies wird durch die Verwendung von Copolymeren, zahlreichen Additiven, Verstärkung durch Glasfasern u. ä. erreicht. Bei der Verwertung von Altautos trägt diese Komplexität der Kunststoffe

im Vergleich mit anderen Werkstoffen zur Recycling-freundlichkeit bei.

Vergleicht man die zur Entsorgung anstehenden „DDR-Pkw“ des Typs Trabant mit Fahrzeugen „westlicher Bauart“ gleichen Alters, so ergeben sich hinsichtlich der Zusammensetzung zum Teil deutliche Unterschiede. Der Anteil an Fe-Metallen beträgt beim Trabant P 601 nur 64 %, gegenüber ca. 70 % bei westdeutschen Pkws der Baujahre 1975/80. Der Kunststoffanteil liegt bei ca. 14 % [3.27].

Die Zusammensetzungen anderer, in den neuen Bundesländern noch genutzter Pkw aus dem ehemaligen Ostblock, z. B. Fahrzeuge der Fabrikate Wartburg, Lada und Skoda, entspricht den Fahrzeugen westlicher Bauart.

Von besonderer Bedeutung für den Entsorgungs- und Verwertungsprozeß sind die in den Fahrzeugen enthaltenen Betriebsstoffe, die im herkömmlichen Verwertungsprozeß zur Kontamination von Reststoffen führen und ein erhebliches Gefährdungspotential darstellen (vgl. Kap. 3.7).

Nach Schätzungen fallen pro Altfahrzeug bis zu 28 l Flüssigkeiten und Schmierstoffe an. Die Restmengen an Betriebsflüssigkeiten aus Altfahrzeugen sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

### 3.3 Verwertungs- und Entsorgungswege

Die derzeitige Verwertung der Altfahrzeuge wird überwiegend im Inland vorgenommen. Die Branche umfaßt ca. 5.000 Betriebe, die 90 % der anfallenden Altfahrzeuge verarbeiten. Ca. 10 % der Altfahrzeuge werden exportiert [3.10].

Von den im Inland verwerteten Altfahrzeugen werden 85 % in Shredderanlagen verarbeitet. 15 % werden in Schrottscheren zerschnitten oder in Paketpressen verdichtet.

Auf dem Wege ihrer „Verschrottung“ durchlaufen die Autowracks in der Regel die Stationen Lagerung, Betriebsflüssigkeitsentnahme und Gebrauchteilegewinnung.

**Tabelle 3.2 In Kraftfahrzeugen eingesetzte Kunststoffe und deren Abkürzungen [3.17]**

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol (Polymer)		PMMA	Polydimethylmethacrylat
ASA	Acrylnitril-Styrol-acrylester-Copolymer		POM	Polyoxymethylen, Polyformaldehyd, Polyacetal
CA	Celluloseacetat		PP	Polypropylen
EP	Epoxid (-Harz)		PPO	Polyphenylenoxid
EPDM	Ethylenpropylen-Dimer		PPS	Polyphenylsulfid
MBS	Methylmethacrylat-Butadien-Styrol (Polymer)		PPSU	Polyphenylsulfon
MF	Melamin-Formaldehyd(-Harz)		PS	Polystyrol
MPPF	Melamin-Phenol-Formaldehyd(-Harz)		PSU	Polsulfon
PA	Polyamid		PTFE	Polytetrafluorethylen
PA 6	Polymeres aus Caprolactam		PUR	Polyurethan
PA 66	Polykondensat aus Hexamethyldiamin aus Adipil		PVC	Polyvinylchlorid
PA 11	Polykondensat aus 11-Amino-undecansäure		PVDC	Polyvinylidenchlorid
PA 12	Polymeres aus 12-Laurinlactam		PVDF	Polyvinylidenfluorid
PBTP	Polybutylen-terephthalat		SAN	Styrol-Acrylnitril (Polymer)
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte		SB	Polystyrol mit Elastomer auf Basis Butadien modifiziert
PC	Polycarbonat		SI	Silicon (-Polymer)
PESU	Polyethersulfon		UF	Harnstoff-Formaldehyd(-Harz)
PF	Phenol-Formaldehyd(-Harz)		UP	Ungesättigter Polyester
PI	Polyimid			

Zumeist gelangen die Autowracks zunächst auf die Lagerplätze von Altaxoverwertern. Die Lagerung der Wracks erfolgt gewöhnlich auf Freiflächen. Über befestigte und mineralölundurchlässige Flächen, wie sie im Merkblatt 9 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall „Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Lagerung und Behandlung von Autowracks“ (vgl. Kap. 2.3) gefordert werden, verfügen nur ein Teil der Betriebe. Auch die Anforderungen an den Betrieb werden häufig nicht erfüllt, so wird z. B. die im Merkblatt geforderte Stapelhöhe von 3 m oftmals überschritten und bis zu fünf Altaxos übereinander gestapelt [3.4].

Von den Betriebsflüssigkeiten des Fahrzeugs werden vorwiegend die Kraftstoffe sowie die Mineralöle durch Anstechen des Kraftstofftanks und der Ölwanne entnommen. Größtenteils erfolgt auch die Entnahme der Batterie. Dagegen werden Hydrauliköle, Bremsflüssigkeit, Kühl- und Scheibenwischwasser sowie der Ölfilter nur in geringem Umfang erfaßt.

Nach der Betriebsflüssigkeitsentnahme werden verwertbare Teile, Aggregate oder Baugruppen wie z. B. Kotflügel, Türen, Getriebe, Motoren etc. zum Gebrauchttellerverkauf und zur Reparatur von Gebrauchtfahrzeugen gezielt ausgebaut. Der Ausbau erfolgt überwiegend durch die Kunden selbst.

Eine generelle Demontage der Fahrzeuge mit umfassender Ersatzteilergewinnung und Lagerhaltung wird jedoch nur von wenigen Verwertungsbetrieben durchgeführt.

Die so „vorbehandelten“ Autowracks werden anschließend direkt den Shredderbetrieben zugeführt oder aber zunächst an Zwischenhändler (Schrotthändler) abgegeben, die die ausgeschlachteten Fahrzeuge wiederum an die Shredderbetriebe veräußern. Befindet sich keine Shredderanlage in der näheren Umgebung, werden die Fahrzeuge für den Transport zum Shredderbetrieb durch Pressen kompaktiert.

Im Shredderbetrieb werden die Karossen zumeist gemeinsam mit sogenanntem „Misch- und Sammelschrott“ (z. B. Haushaltsgroßgeräte) verarbeitet.

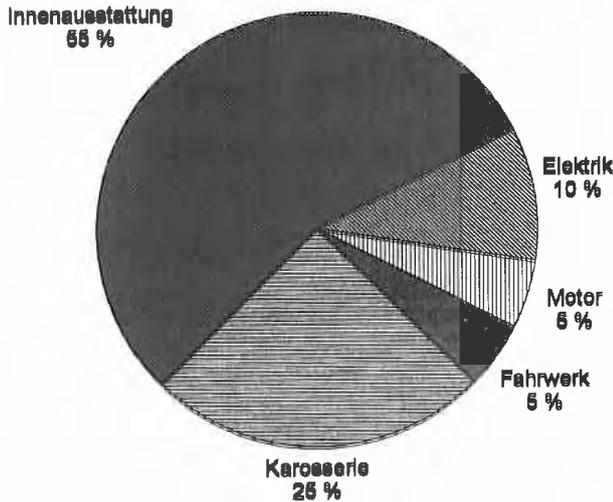
Für die Zerkleinerung des Schrotts werden Verfahren und Betriebsweisen angewendet, die auf die Erfordernisse der Abnehmer des Schrotts, also Stahlwerke und Gießereien, abgestellt sind. Die Qualitätsanforderungen der Stahlwerke schränken die Aufbereitung der Altaxos auf solche Verfahren ein, die einen Schrott mit geringen Fremdstoffanteilen – der erforderliche Reinheitsgrad liegt bei 98 Gew.-% – erzeugen. Hierfür sind Shredderverfahren besonders geeignet.

Die durch den Shredder abgetrennte Eisen- und Stahlfraction fließt gänzlich in die Stahlherzeugung. Der verbleibende Shreddermüll (ca. 25–30 Gew.-%, mit steigender Tendenz) setzt sich überwiegend aus organischen Stoffen, z. B. den in den Fahrzeugen eingesetzten Kunststoffen, Textilien, Gummis zusammen. Die Shredderrückstände sind aufgrund ihrer inhomogenen Material- etc. Zusammensetzung nicht stofflich verwertbar. Nach der Technischen Anleitung Abfall (TA Abfall) sind Shredderrückstände als besonders überwachtungsbedürftige Abfälle (Sonderabfälle) eingestuft. Die Entsorgung erfolgt nach TA Abfall im Regelfall über die Sonderabfallverbrennung, entsprechend den einzuschaltenden Zuordnungskriterien für die befristete oberirdische Ablagerung auch auf Sonderabfall- oder Hausmülldeponien.

### 3.4 Vorbehandlung durch Shredderanlagen

Für die Aufbereitung von Altaxos und Sammelschrotten standen im Herbst 1993 in der Bundesrepublik insgesamt 50 Anlagen mit Antriebsleistungen von 400 bis 3000 kW zur Verfügung. Die Aufbereitungskapazität dieser Anlagen beträgt ca. 1,7 Mio. Mg/a [3.23]. Shredder, Zerkleinerer, Kondratoren und Mühlen, die sich durch ihre Bauformen unterscheiden, sind in der Lage Altaxos mit oder ohne Vorzerkleinerung aufzu-

**Bild 3.2: Kunststoffverteilung am Kraftfahrzeug**



berichten. Die Standorte der bundesdeutschen Anlagen sind im Bild 3.3 dargestellt.

Bild 3.4 gibt das Schema eines Shredders wieder. Im Shredder, der nach dem Prinzip der Hammermühle arbeitet, werden die kompletten Karosserieteile auf Stückgrößen von ca. 50 bis 150 mm zerkleinert. Die Karosserieteile werden durch einen Greifer auf das Beschickungsband gesetzt, welches den Befüllungsgrad des Shredders regelt. Einzugsrollen erfassen das Gut, verdichten es und schleben es in den Mahraum. Dort erfolgt die Zerkleinerung durch Schlagkörper (Hammer oder Schlagring), die an einem mit hoher Geschwindigkeit umlaufenden Rotor (55 bis 65 m/s) pendelnd aufgehängt sind. An der feststehenden Kante im Starter, der sogenannten Amboßkante, werden die Materialteile durch die Schlagkörper abgerissen. Die weitere Zerkleinerung geschieht durch Prallwirkung an den Prallplatten, dem Rost oder an zurückfliegenden Materialteilen. Eine Vielzahl der Teile wird durch die Hämmer an der Prallkante nachzerkleinert. Die Materialstücke werden dabei unter der Wirkung dieses kombinierten Zerreiß- und Prallvorgangs so lange zerkleinert und verdichtet, bis sie die Rostöffnungen passieren können.

Gleichzeitig werden die „flugfähigen“ Bestandteile über eine Entstaubungsanlage abgesaugt. Die Abtrennung der Partikel erfolgt mittels Windsichtung.

Der Zerkleinerung nachgeschaltet ist ein Magnetscheider, durch den die Eisenmetalle separiert werden.

### 3.5 Shredderfraktionen, deren Verwertung und Entsorgung

Die Stoffströme aus der Altfahrzeugvorbehandlung in Shredderanlagen verteilen sich durchschnittlich wie folgt:

- 69 Gew.-% des Inputs sind Shredderschrott;

- 6 Gew.-% des Inputs entfallen auf die sog. Schwergutfraktion, die sich zum größten Teil aus den NE-Metallen zusammensetzt;
- 25 Gew.-% des Inputs fallen als Leichtfraktion an.

Bild 3.5 zeigt den Materialfluß der Autoverwertung im Shredderbetrieb.

Der mittels Magnetscheider abgetrennte Stahlschrott weist eine Reinheit von 98 Gew.-% bei einer Schüttdichte von 1,1 Mg/m<sup>3</sup> bis 2,5 Mg/m<sup>3</sup> auf. Damit genügt der Schrott den Anforderungen der Stahlindustrie, so daß dieser direkt dort eingesetzt werden kann. Mit dem Shredderverfahren werden rund 98 Gew.-% des in den Altfahrzeugen enthaltenen Stahlanteils zurückgewonnen.

Verfahrenstechnisch komplexer gestaltet sich die Auftrennung des nach der Magnetscheidung verbleibenden Stoffstromes (Schwergutfraktion). Dieser setzt sich aus

- |        |            |
|--------|------------|
| 41,2 % | Aluminium, |
| 5,0 %  | Kupfer,    |
| 28,7 % | Zink,      |
| 1,8 %  | Blei und   |
| 23,3 % | Sonstiges  |

zusammen [3.19].

Für die Verwertung der Schwergutfraktion ist eine Trennung von metallischen und nichtmetallischen Stoffen erforderlich. Verwertet wird zur Zeit nur der metallische Anteil.

Die Trennung wird in wäßriger Phase nach dem Schwimm-Sink-Verfahren erreicht. Zur Vorabscheidung von nichtmetallischen Materialien wird die Fraktion gewaschen. Danach wird eine Abtrennung der noch enthaltenen Eisenanteile mittels Magnetscheidung vorgenommen. Anschließend werden Kunststoffe, Gummi und Magnesium in einer geeignet eingestellten Ferrosiliziumtrübe abgetrennt. Während diese Fraktionen aufschwimmen, sinken die NE-Metalle ab. Die weitere Trennung der NE-Metalle kann mit einer Ferrosiliziumtrübe von 3,4 kg/l erfolgen. Da-

**Tabelle 3.3: Anwendungsbeispiele für Kunststoffe (Mittelwerte, Baujahr 1980) [3.22]**

Kunststoff	Anteil [Gew.-%]	Anwendungsbeispiele
PUR	23	Sitze, Dachhimmel, Geräuschisolation
PVC	22	Kunstleder, Follen, Unterbodenschutz
ABS, PS	18	Teile vom Stoßfänger und Dachhimmel, Außenspiegel
PP	16	Stoßfänger, Radhauschale, Heizung
PE	6	Kraftstoffbehälter, Kühlerabdeckung
PA	6	Radkappen, Bodenteppich, Verkleidung
Duroplaste	3	Isolierplatte, Motorelektrik
PMMA	2	Rückleuchten, Abdeckung Wischer
POM	1	Teile vom Kraftstoffbehälter, Gaspedal
Sonstige	5	Teile von Rückleuchten, Mittelkonsole

**Tabelle 3.4: Restmengen an Betriebsstoffen pro Altaufo [3.25]**

Betriebsstoffe	Menge [l]
Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Zweitaktgemisch)	10
Bremsflüssigkeit	0,7
Kühlerflüssigkeit	7
Motoröl	4
Getriebeöl	2
Differentialöl	0,5
Schleibenwaschwasser	3
Schmierfette	1
Gesamt	28,2 l

bei schwimmt das Aluminium auf. Die Fraktionen werden nach jeder Trennstufe gespült, das Spülwasser wird zurückgeführt. Trotz des Spülens ist ein Austrag von ca. 4 bis 5 kg Ferrosiliziumtrübe pro Tonne Input nicht vermeidbar. Das Verfahren erfordert eine umfangreiche Abwasserbehandlung. Der Trenneffekt des Verfahrens liegt zwischen 90 und 96 %. Aufgrund der hohen Kosten des Verfahrens sowie der erreichbaren Sortierqualität geht die technische Entwicklung in Richtung Trockenseparationstechniken.

Zur Vorbehandlung der Grobfraktion im Rahmen einer Trockenseparation der Schwergutfraktion werden mehrstufige Windsichter, Vibrationsrinnen, Zerkleinerungs- und Siebanlagen eingesetzt. Bei den Trockenseparationstechniken wird der eigentliche Sortiervorgang durch eine analytische Identifizierung oder aufgrund der metallspezifischen Reaktion auf die Induzierung von Wirbelfeldern (Wirbelstromscheidung) vorgenommen.

Eine analytische Identifizierung kann z. B. mittels Atom-Emissions-Spektroskopie erfolgen. Dazu wird mit einem HeNe-Laser ein gepulster Laserstrahl auf das Schwergut gerichtet, wodurch auf der Materialoberfläche ein Plasma erzeugt wird. Die dabei von den Werkstoffen ausgesandten Spektrallinien werden durch Detektoren registriert. Über eine elektronische Signalverarbeitung wird der Werkstoff identifiziert und ein entsprechender Steuerbefehl an das Sortierteil der Maschine abgegeben [3.11].

Eine weitere Möglichkeit zur analytischen Identifizierung ist die energiedispersive Röntgen-Fluoreszenz-Analyse. Dazu wird das Sortiergut mit einer radioisotopischen Quelle angeregt. Die vom Werkstoff abgegebenen charakteristischen Röntgenstrahlen werden von einem Proportionalzähler erfaßt und elektronisch nach dem Röntgenspektrum sortiert. Der Werkstoff wird vom Rechner erkannt und ein entsprechender Steuerimpuls an die nachgeschaltete Sortiereinheit abgegeben [3.12]. Sowohl das Laser- als auch das Röntgen-Fluoreszenzverfahren befinden sich noch in der Entwicklungsphase.

Bei der Wirbelstromabscheidung werden Unterschiede der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen ausge-

nutzt. Dazu werden mit zeitveränderlichen Magnetfeldern Wirbelströme im Metallteil induziert. Jeder Stromfluß hat dabei ein Magnetfeld zur Folge, das dem Ursprünglichen entgegengesetzt ist. Es kommt zu einer Wechselwirkung der Magnetfelder. Als Trennparameter tritt der Quotient von elektrischer Leitfähigkeit und Dichte auf. Es werden zwei Verfahren zur Erzeugung eines zeitveränderlichen Magnetfeldes eingesetzt. Beim ersten Verfahren wird das Magnetfeld kontinuierlich oder diskontinuierlich variiert, die Größe der abstoßenden Kraft ist nicht von der Geschwindigkeit der Partikel abhängig. Im zweiten Verfahren bewegen sich die Partikel in einem stationären Feld, die abstoßende Kraft hängt von der Geschwindigkeit der Partikel ab (Rampenabscheider) [3.8].

Eine Sortierung der in der Schwergutfraktion enthaltenen metallischen Werkstoffe nach den oben beschriebenen Verfahren ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur sinnvoll, wenn die Stoffströme mehrerer Shredderanlagen zusammengeführt werden. Als Beispiel für eine großtechnische Anlage zur Schrottsortierung sei hier die Metallsortieranlage in Duisburg mit einem Durchsatz von 70.000 Jahrestonnen genannt [3.11].

Die Leichtfraktion aus dem Shredder besteht überwiegend aus organischen Bestandteilen folgender Zusammensetzung [3.13]:

13 Gew.-%	chlorfreie Thermoplaste
6 Gew.-%	PVC (Polyvinylchlorid)
7 Gew.-%	Schaumstoff (Polyurethan)
3 Gew.-%	andere Thermo- und Duroplaste
23 Gew.-%	Elastomere (Gummi)
4 Gew.-%	Holz/Zellulosestoffe
6 Gew.-%	andere Faser- und Bezugsstoffe
3 Gew.-%	Lackbestandteile
13 Gew.-%	Glas und Keramik
13 Gew.-%	Eisen
1 Gew.-%	Kupfer
3 Gew.-%	Aluminium
5 Gew.-%	andere Bestandteile (Sand, Staub, Rost, Blei, Zink, u. a.)

Eine Verwertung der Leichtfraktion ist zur Zeit nicht möglich. Diese ist daher seit dem Inkrafttreten der TA-Abfall im März 1991 als besonders überwachtungsbedürftiger Abfall zu entsorgen [3.18]. Die TA-Abfall sieht – unter der Voraussetzung, daß eine Verwertung nicht möglich ist – als Regelfall die Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage als Vorbehandlungsverfahren für die Leichtfraktion vor. Ist dies nicht möglich (z. B. keine Verbrennungskapazitäten) und liegt der PCB-Gehalt unter 10 mg/kg und der Gehalt an Kohlenwasserstoffen unter 4 Gew.-%, ist eine Ablagerung auf oberirdischen Deponien statthaft. Diese Regelung ist auf eine Übergangszeit von vier Jahren beschränkt.

Die thermische Verwertung wurde bislang nur in Pilotversuchen (Mill-Fuel Verfahren, Direktverbrennung im Zementdrehrohr, Entgasung, Hoch-Temperatur-Vergasung, gekoppelte Niedertemperaturpyrolyse mit Verbrennung der Pyrolysegase im Zementdrehrohr, Wirbelschicht-Verbrennung) getestet. Labortechnische Untersuchungen zur Gewinnung verwertbarer organischer Produkte zeigten u. a., daß die Materialien erheblich verunreinigt und nicht absetzbar sind. Daher verbleibt zunächst nur die thermische Nutzung

als Behandlungsverfahren. Dieses muß selbst unter der Voraussetzung, daß ein Teil der Shredderrückstände durch optimierte Demontagesysteme verwertet werden kann, weiterentwickelt werden.

Die thermische Behandlung hat folgende Ziele:

- Zerstörung der organischen Inhaltsstoffe
- Volumenreduktion des Reststoffes
- Inertisierung des Reststoffes und anorganischer Schadstoffe
- Heizwertnutzung, bzw. Gewinnung von Synthesegas
- Verwertung der enthaltenen Metalle

Die Reststoffe aus der Verbrennung müssen den Anforderungen der TA-Abfall, die gasförmigen Emissionen denen der 17. BImSchV [3.24] entsprechen. Der Vermeidung von Dioxinmissionen durch das Verbrennungsverfahren und der Abluftbehandlung ist besondere Beachtung beizumessen.

Zu den in der Erprobung befindlichen thermischen Verwertungsverfahren für die Shredderleichtfraktion gehören u. a. die Pyrolyse im Drehrohr, in der Wirbelschicht oder beim Schwelbrennverfahren, die Verbrennung im Drehrohr oder in einer Wirbelschicht sowie die Hochtemperaturvergasung. Pyrolyse und Ver-

gasung unterscheiden sich von der Verbrennung u. a. dadurch, daß ein brennbares Gas erzeugt wird, welches im Prozeß genutzt oder extern eingesetzt werden kann.

### 3.6 Wirtschaftlichkeit der Altfahrzeugverwertung

Die Wirtschaftlichkeit der Altfahrzeugverwertung ist geprägt durch die Erlöse, die mit den aufbereiteten Fraktionen und dem Ersatzteilverkauf erzielt werden können, die Aufbereitungskosten (incl. Entsorgungskosten für die nicht verwertbaren Fraktionen) sowie die Kosten/Erlöse, die für Ankauf/Annahme der Altfahrzeuge entstehen.

Die Aufbereitungskosten in Shredderanlagen betragen ca. 130 DM/Mg und teilen sich in etwa wie folgt auf (Basis 1991) [3.14]:

15 %	Personalkosten
22 %	Instandhaltung und Reparatur
10 %	Energiekosten
30-40 %	Entsorgung der Shredderrückstände
10-23 %	sonstige Kostenarten

Die Fraktion, mit der beim Shredderverfahren der überwiegende Teil der Erlöse erwirtschaftet werden kann, ist der Stahlschrott. Der Preisindex der Großhandelspreise für Stahlschrott hat sich 1992 gegenüber 1985 jedoch halbiert. In 1992 stiegen die Preise wieder an und erreichten Januar 1994 mit einem Index von ca. 81,5 wieder einen günstigen Wert [3.16].

Die Deponiekosten, die 1985 noch aufgrund der damaligen Einstufung der Shredderrückstände als Hausmüllähnliche Abfälle bei ca. 20 DM/Mg lagen, sind deutlich gestiegen. Seit Inkrafttreten der TA-Abfall ist die Entsorgung von Shredderrückständen auf Hausmülldeponien nur noch in Ausnahmefällen und für eine Übergangszeit möglich. Die Verbrennung (Regelentsorgung) oder Ablagerung als besonders überwachungsbedürftiger Abfall ist mittlerweile mit Kosten von 350 DM/Mg bis über 600 DM/Mg verbunden.

Das Ansteigen der Entsorgungskosten für die Shredderrückstände, der steigende Anteil an nichtmetallischen Werkstoffen im Fahrzeug und der Rückgang der Erlöse aus dem Verkauf des Stahlschrottes sind zu einem betriebswirtschaftlichen Problem der Shredderbranche geworden. Die Entsorgungsgebühr (Annahmgebühr) beträgt demzufolge bereits 80 bis 350 DM pro Altfahrzeug.

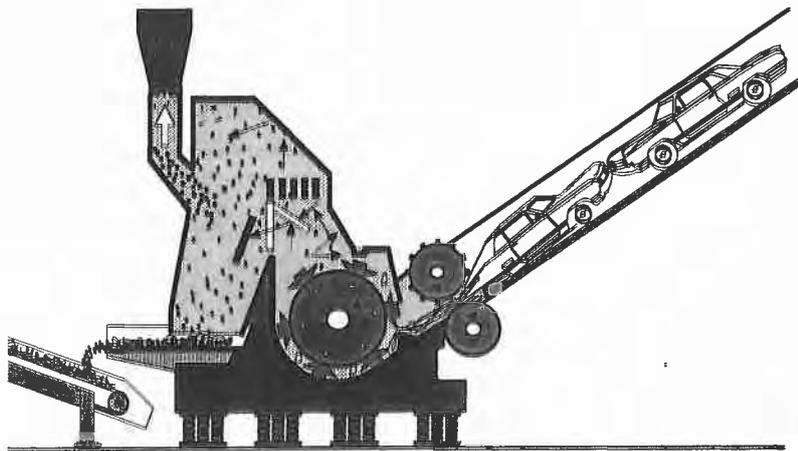
### 3.7 Umweltrelevanz der Verwertung von Altfahrzeugen

Das Hauptproblem der bisherigen Altfahrzeugverwertung sind die anfallenden Shredderrückstände (25 Gew.-% – 30 Gew.-% vom Input), die aufgrund von Verunreinigungen durch vollstän-

**Bild 3.3: Standorte der Shredderanlagen [3.23]**



**Bild 3.4: Schema eines Shredders (System Lindemann)**



dig oder teilweise in den Fahrzeugen verbliebene Betriebsmittel sowie durch Mitbehandlung von Misch- und Sammelschrott als Sonderabfälle einzustufen sind.

In der Bundesrepublik Deutschland fallen jährlich ca. 600.000 Mg Shredderrückstände an. 400.000 Mg/a entstammen dabei der Verschrottung von Altfahrzeugen [3.4]. Bis zum Jahr 2000 ist trotz der geplanten Maßnahmen zur verstärkten Verwertung mit einem Anstieg auf über 600.000 Mg zu rechnen [3.5]. Die Hauptfraktion in den Shredderrückständen stellen beim herkömmlichen Weg der Altautoentsorgung die Kunststoffe dar. Die Menge der in den in Deutschland anfallenden Autowracks enthaltenen Kunststoffe be-

trägt zur Zeit etwa 240.000 Mg/a [3.6] und wird im Laufe der nächsten Jahre weiter zunehmen.

Obwohl das Aufkommen an Shredderrückständen im Vergleich zum Gesamtaufkommen an Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen nur ca. 1,5 % beträgt, ist die Deponierung der Shredderrückstände zunehmend problematisch.

In einer vom Umweltbundesamt 1991 durchgeführten Studie wurden in Shredderrückständen aus der Zerkleinerung nicht vorbehandelter Altfahrzeuge und leichtem Sammelschrott Gehalte an polychlorierte Biphenyle (PCB) von 150 mg pro kg festgestellt [3.20]. Das Shreddern von vollständig trockengelegten, aber nicht zurückgebauten Altfahrzeugen, (ohne Mitbehandlung von Sammelschrott) hatte

PCB-Gehalte von weniger als 10 mg/kg in den Shredderrückständen zur Folge. Ein weiterer Rückbau der Altfahrzeuge führte zu keiner Abnahme der PCB-Gehalte im Shredderrückstand.

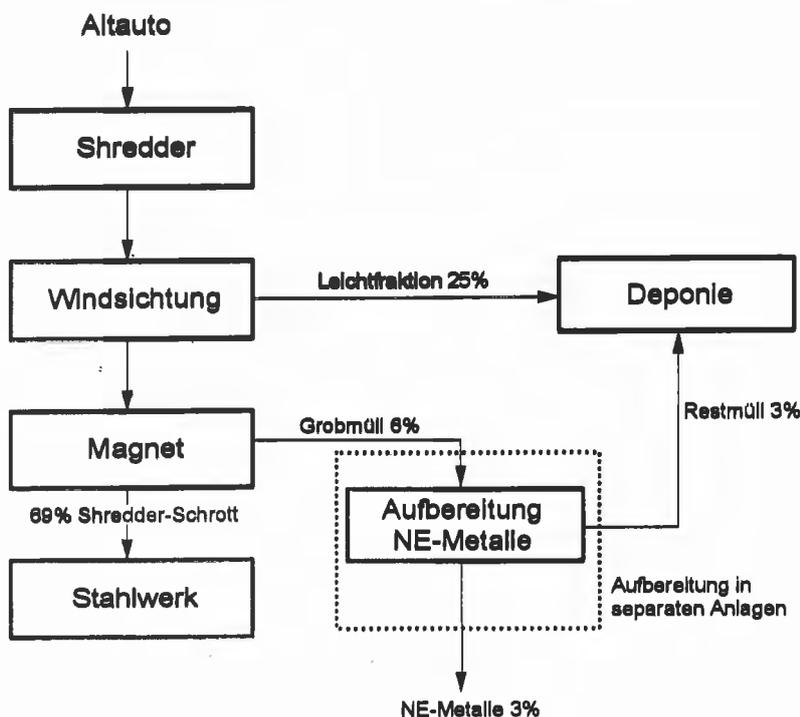
Aus den Untersuchungsergebnissen kann gefolgert werden, daß die Kontaminationen durch im Altfahrzeug verbliebene Betriebsmittel z. B. Motor- und Getriebeöle sowie durch die Mitbehandlung von leichtem Sammelschrott verursacht werden. Für die letztgenannte Fraktion wurde das durch separates Shreddern bestätigt; die PCB-Gehalte der Rückstände lagen über 200 mg pro kg.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind als nachweislich krebserregend eingestuft. In Motorölen kann es durch thermische Prozesse während des Fahrbetriebes zusätzlich zur Bildung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) kommen. Diese haben sich in Tierversuchen ebenfalls als krebserzeugend erwiesen. Eine Gefährdung durch PCB und PAK tritt sowohl bei der Aufnahme über die Atmungsorgane als auch über den Verdauungstrakt auf [3.26].

Die bereits in Kraft getretene TA-Abfall sieht als Regelentsorgung die Verbrennung der Shredderrückstände vor. Besteht diese Möglichkeit nicht, ist die Ablagerung als besonders überwachungsbedürftiger Abfall vorzunehmen. Nur für eine Übergangszeit kann, unter der Voraussetzung, daß die Grenzwerte nicht überschritten werden (vgl. Kap. 2.4.2), die oberirdische Ablagerung erfolgen.

Neben den technischen Problemen bei der Aufbereitung von Altautos treten verstärkt Umweltprobleme durch eine nicht fachgerechte Lagerung, Behandlung und Entsorgung der Betriebsflüssigkeiten auf. Bei unvollständiger Entleerung von Kraftstofftanks kann es im Shredder bei der Zerkleinerung zur Bildung von expo-

**Bild 3.5: Materialfluß der Altautoverwertung im Shredderbetrieb**



**Tabelle 3.5: Klassifizierung der Betriebsflüssigkeiten**

Abfallarten nach Abfallartenkatalog	Abfall-Schlüssel-Nr.	Sonderabfälle §2 Abs.2 AbfG	Entsorgungshinweise laut TA-Abfall			Einstufung nach VbF	Wassergefährdungsklasse
			CPB*	HMV**	SAV***		
Akku-Säuren	52101	x				-	1
Verunreinigte Kraftstoffe	54104	x	2		1	AI	2
Verbrennungsmotoren- und Getriebeöle (unbekannt)	54112	x	2		1	AI	3
Verbrennungsmotoren- und Getriebeöle (bekannt)	54112	x	2		1	AIII	3
Fettabfälle	54202	x			1	-	
synth. Kühl- und Schmiermittel	54401	x	2		1		
sonst. Öl - Wassergemische	54408	x	1		1	-	
Ethylenglykole (Kühlerflüssigkeiten)	55303	x			1	-	
Glykoether (Bremsflüssigkeit)	55358	x			1	-	1

\* Chemisch-Physikalische Behandlung  
 \*\* Hausmüllverbrennung  
 \*\*\* Sonderabfallverbrennung

1 = Regelfall  
 2 = u. bestimmten Bedingungen

siven Gasgemischen kommen. Zudem ist bei einem Großteil der Schrottplätze bzw. Verwertungsbetriebe immer noch zu beobachten, daß die Lagerflächen nur unzureichend ausgerüstet sind und so Betriebsflüssigkeiten, die als Sonderabfälle eingestuft sind (siehe Tabelle 3.5), ungehindert in das Erdreich versickern können. Betonflächen mit integrierten mineralölundurchlässigen Schutzfolien und einer Abiel-

tung eventuell anfallender Flüssigkeiten in einen ausreichend dimensionierten Leichtflüssigkeitsabscheider sind zwar zur Vermeidung von Umweltbelastungen unabdingbar, gehören jedoch noch nicht zur Standardausrüstung der Schrottplätze. Ein Schutz vor Niederschlägen, um das Ausschwemmen der Schadstoffe zu verhindern, ist gleichfalls selten vorhanden.

## 4. Autodemontage

### 4.1 Ziele und Anforderungen

Die stetige Steigerung der Zulassungszahlen – vor allem in den fünf neuen Bundesländern – und die damit verbundene Zunahme der Anzahl von Altautos sowie die Entwicklungen im Automobilbau verlangen neue Ansätze zur Altautoverwertung, um eine umweltverträgliche und geregelte Entsorgung auch langfristig sicherzustellen.

Die grundsätzlichen Zielstellungen ergeben sich aus der Notwendigkeit einer abfallarmen Gesellschaft, die der Abfallvermeidung Priorität einräumt. Diese Zielstellung berührt die Fragestellung nach Menge, Nutzungsart und -dauer erzeugter Produkte. Als zweite Zielstellung, der vorgenannten untergeordnet, gilt das Gebot der Verwertung unvermeidbarer Abfälle. Durch die Autodemontage sollen die Voraussetzungen für höhere Verwertungsquoten geschaffen und die im folgenden dargestellten Recyclingformen ermöglicht werden [4.1].

#### Verwendung

Wiederverwendung ist die erneute Benutzung eines gebrauchten Produkts (Altteils) für den gleichen Verwendungszweck wie zuvor unter Nutzung seiner Gestalt ohne bzw. mit beschränkter Veränderung einiger Teile.

Beispiel dafür ist die Instandsetzung und der Wiedereinbau von Motoren.

Weiterverwendung ist die erneute Benutzung eines gebrauchten Produkts (Altteils) für einen anderen Verwendungszweck, für den es ursprünglich nicht hergestellt wurde. Sie kann unter Nutzung der Gestalt ohne bzw. mit beschränkter Veränderung des Produkts erfolgen. Dabei kann die erneute Benutzung für einen anderen (bestimmten) Verwendungszweck bereits bei der Herstellung des Produkts berücksichtigt worden sein.

Als Beispiel ist die Verwendung von Autoreifen in der Schifffahrt und zur Beschwerung von Siloabdeckungen bekannt. Möglichkeiten gibt es auch für elektrische Aggregate wie z. B. Anlasser und Lichtmaschinen.

#### Verwertung

Wiederverwertung ist der wiederholte Einsatz von Altstoffen und Produktions-Rücklaufmaterial bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktionsprozeß. Hierzu zählt auch das chemische Recycling von Kunststoffen zur Gewinnung der Materialausgangsstoffe. Durch Wiederverwertung entstehen aus den Ausgangsstoffen weitgehend gleichwertige Wertstoffe.

Weiterverwertung ist der Einsatz von Altstoffen und Produktions-Rücklaufmaterial bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem von diesen noch nicht durchlaufenen Produktionsprozeß. Durch Weiterverwertung entstehen Werkstoffe oder Produkte mit anderen Eigen-

schaften (Sekundärwerkstoffe) und/oder anderer Gestalt. Hierzu gehört z. B. das chemische Recycling von Kunststoffen. Beim Einsatz von gemahlenden Duroplasten als Partikel in Primärwerkstoffen können die Eigenschaften verbessert werden. Sekundäranwendungen sind im Vergleich zu Primäranwendungen nicht zwangsläufig in ihrer Wertigkeit heruntergestuft.

Grundsätzlich bieten sich zwei Ansätze zur Erreichung der vorgenannten Ziele und besonders zur Lösung der Shreddermüllproblematik (vgl. Kap. 3.7) an:

- die vorhandenen Techniken der Aufbereitung des Shredderoutputs dahingehend zu optimieren, einen höheren Trennungsgrad zu erreichen und geeignete Verwertungsmöglichkeiten für den Shreddermüll zu schaffen,
- die Demontage von Altfahrzeugen, die eine sortenreine Erfassung der in den Fahrzeugen eingesetzten Bauteile bzw. Werkstoffe ermöglicht.

Aus abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten höher zu bewerten ist die zweite Vorgehensweise, da sie eine stoffliche Verwertung begünstigt.

Die Autodemontage schafft die Voraussetzung, die in den Kraftfahrzeugen enthaltenen Werkstoffe und Schadstoffkomponenten getrennt und sortenrein zu erfassen und bietet somit die Möglichkeit

- die Wertstoffe zur Schaffung von Materialkreisläufen einer stofflichen Verwertung zuzuführen, bzw. für eine thermische Verwertung zu nutzen,
- die Betriebsflüssigkeiten und Sonderabfälle ggf. nach einer Analyse gezielt zu verwerten, zu behandeln oder zu entsorgen.

Neben der Erhöhung der Recyclingquote von stofflich verwertbaren Materialien ist durch eine gezielte Demontage die Möglichkeit einer verstärkten Alt- bzw. Ersatzteilnutzung gegeben. Durch geeignete, der Demontageanlage nachgeschaltete Kontroll- und Reparaturmaßnahmen, wird eine hohe Wertschöpfung von Kfz-Baugruppen und Einzelerersatzteilen erreicht, deren Zuverlässigkeit die der nur in Stichproben geprüften Neuerzeugnisse sogar übersteigen kann.

Der Ansatz, Altautos zu zerlegen, erfordert eine Kennzeichnung der Kunststoffteile im Automobilbau, so daß künftig Kunststoffteile eindeutig identifizierbar sind und einem direkten Wiederverwertungsprozeß zugeführt werden können.

Die Gesamtabfallmenge (ca. 25–30 Gew.-% des Inputs) aus der bisherigen ganzheitlichen Altautoverwertung in Shredderanlagen, die im wesentlichen auf die Rückgewinnung von Stahlschrott ausgerichtet ist, wird durch die Demontage um 30–50% verringert. Auch wird die Deponiefähigkeit der nicht verwertbaren Reststoffe durch eine zuvor getrennte und vollständige Erfassung der Betriebsflüssigkeiten verbessert. Durch die Demontage der Altfahrzeuge wird die Shreddertechnologie nicht ersetzt, da die nach der Demontage verbleibende Rest- bzw. Rohkarosse nach wie vor zu chargierfähigem Stahlschrott verar-

**Tabelle 4.1: Energiebedarf zur Zerkleinerung von Karosserieschrott in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Inputs [4.4]**

Schrottart	Schrott Zerkleinerung [kWh/Mg]	Schrott Aufbereitung [kWh/Mg]
Karosserie mit Motor, Reifen, Polster	25 - 28	10 - 13
Karosserie ohne Motor, Reifen, Polster	20 - 23	8 - 10
Karosserie plattgedrückt, ohne Motor, Reifen, Polster	15 - 18	6 - 8

beitet werden muß. Die Demontage versteht sich als Teil eines Gesamt-Verwertungsprozesses.

Für die Zerkleinerung des Schrott nach einer Demontage ist ein geringerer Energiebedarf erforderlich, als beim Shreddern kompletter Altfautos ohne Demontage. In Tabelle 4.1 ist der Energiebedarf für die Zerkleinerung von Karosserieschrott in einem Shredder mit obenliegendem Rost je nach Zusammensetzung des Inputs zusammengefaßt. Es wird ersichtlich, daß der Energiebedarf sowohl für die Zerkleinerung als auch für die nachfolgende Aufbereitung durch vorherige Demontage sowie Zerlegung abnimmt. Andererseits ist zu erwarten, daß die Qualität des erzeugten Stahlschrott steigt.

#### 4.2 Demontage

Die Entwicklung und der Betrieb von Demontageanlagen befindet sich derzeit noch in einem Pilotstadium.

Sowohl die Automobilhersteller und deren Zulieferer als auch die Verwertungsbetriebe, der Anlagenbau, das Kfz-Gewerbe und Ingenieurgesellschaften arbeiten an z. T. branchenübergreifenden Projekten zur Altfautodemontage zusammen. Im Rahmen dieser Projekte werden verschiedene Verfahrenskonzeptionen und Techniken mit unterschiedlichen Philosophien erprobt und weiterentwickelt.

Im folgenden werden einige Aspekte zum prinzipiellen Verfahrensablauf, den Anforderungen an die innerbetriebliche Transportlogistik und zu Demontage-techniken dargestellt.

##### 4.2.1 Verfahrensablauf

Der Verfahrensablauf einer Autodemontageanlage ist schematisch in Bild 4.1 dargestellt.

##### Fahrzeug-Annahme

Im Annahme-Bereich werden die angelieferten Autowracks entgegengenommen und für die Demontage vorbereitet. Dazu sind die oftmals mit verschiedensten Abfällen gefüllten Altfautos zunächst zu reinigen. Alle verriegelten Schlösser sind unter Zuhilfenahme von geeigneten Türöffnungswerkzeugen zu öffnen. Es erfolgt die Identifizierung und Katalogisierung der Altfahrzeuge. Dazu werden alle für die Demontage und die Verwertung von Teilen und Materialien wichtigen Daten aufgenommen. Neben dem Fahrzeugtyp,

Fahrgestellnummer, Baujahr, Kilometerleistung werden nach der Fahrzeugprüfung die auszubauenden Teile bestimmt und ebenfalls katalogisiert, damit sie nach der Demontage noch dem Quell-Kfz zuordenbar sind. Dadurch kann die Herkunft der Teile später nachvollzogen werden.

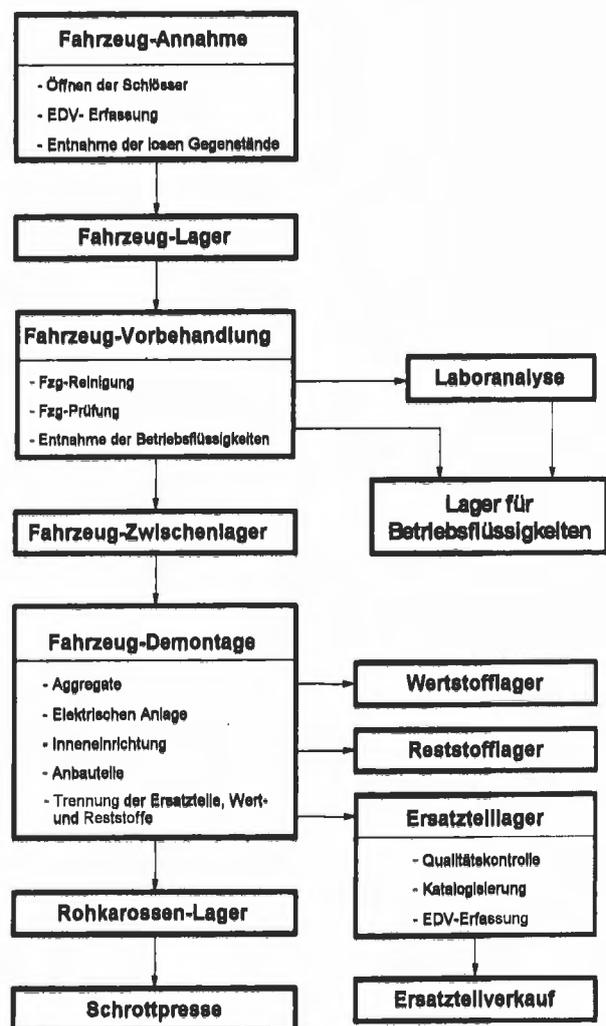
##### Fahrzeug-Lager

Anschließend werden die Fahrzeuge in einem Zwischenlager bevorratet. Die Lagerung sollte geordnet erfolgen, d. h. die Fahrzeuge sollten nicht wie auf Schrottplätzen üblich aufeinander gestapelt werden. Damit können Beschädigungen an den Fahrzeugen, die den Demontageablauf behindern, vermieden und ein direkter Zugriff auf die Fahrzeuge erreicht werden. So können z. B. zur Erhöhung der Demontageeffektivität Fahrzeuge gleicher Arbeitsinhalte zu Chargen zusammengefaßt werden.

##### Fahrzeug-Vorbehandlung

Vor Beginn der eigentlichen Demontearbeiten werden die Fahrzeuge gegebenenfalls mit Heißdampfstrahlgeräten gereinigt. Die gebrauchsfähigen bzw. verwertbaren Bauteile und Materialien werden gekennzeichnet.

**Bild 4.1: Verfahrensablauf einer Autodemontageanlage**



**Tabelle 4.2: Materialflußmengen bei einem jährlichen Durchsatz von 20.000 Altautos auf der Grundlage der Fahrzeugzusammensetzung**

Stoffklasse	Menge (Mg)
Stahl	10.200
Gußeisen	2.090
Aluminium	950
sonstige NE-Metalle	1.140
Kunststoffe	1.710
Textil	304
Glas	760
Gummi	760
Sonstiges	1.140
<b>Summe</b>	<b>19.114</b>

Im nächsten Schritt wird die Entnahme der Betriebsflüssigkeiten des Fahrzeuges, das Absaugen bzw. Ablassen von Kraftstoff, Bremsflüssigkeit, Motor- und Getriebeöl, Kühl- und Waschwasser durchgeführt. Die Flüssigkeiten werden dem Flüssigkeitslager zugeführt, ggf. analysiert und in geeigneten Lagerbehältern getrennt gesammelt.

#### Fahrzeug-Demontage

Eine Demontage der Fahrzeuge, die sich an der Fließbandmontage von Neufahrzeugen orientiert, ist nur bei hohen Durchsätzen und in Anlagen, die auf bestimmte Fahrzeugmodelle beschränkt sind, möglich. Aufgrund der Modell- und Typenvielfalt und der entsprechend unterschiedlichen Arbeitsinhalte, ist es in kleineren und sogenannten typenoffenen Demontage-Anlagen nicht empfehlenswert, die einzelnen Arbeitsschritte aufeinander zu takten. Daher sollte die Fahrzeugzerlegung in Demontagezellen (Demontage-inseln) erfolgen, in denen alle erforderlichen Arbeiten

**Tabelle 4.3: Materialflußmengen bei einer Demontagetiefe von 60 Gew.-% für 20.000 Altautos pro Jahr nach Herkunftsbe-reichen**

Fraktion	Menge (Mg)
Rohkarosse	14.780
Bauteile aus dem Motorraum	2.800
Verglasung	520
Innenausstattung	560
Karosserieteile	770
Elektrik	590
Sonstiges	194
<b>Summe</b>	<b>19.114</b>

vorgenommen werden. Die aus dem Fahrzeug ausgebauten Teile werden in Gitterboxen und speziellen Behältnissen gesammelt und entsprechend ihrer Weiterverwendung in die verschiedenen Lager oder weiteren Bearbeitungsstationen transportiert. Die Zerlegung der aus den Fahrzeugen ausgebauten Baugruppen erfolgt in der Baugruppendemontage, die sowohl dezentral in den einzelnen Demontagezellen oder zentral als selbständige Zelle angeordnet sein kann.

Die Arbeitsschritte in der Baugruppendemontage umfassen neben den Zerlegearbeiten auch die Entnahme der Öle aus Motoren und Getrieben soweit dies nicht in der Vorbehandlung erfolgt. Diese werden im Flüssigkeitslager getrennt gesammelt. Die bei der Zerlegung anfallenden Wert- und Reststoffe sowie Ersatzteile werden in geeigneten Behältern gesammelt und nach einer ggf. notwendigen Reinigung den Lagerbereichen bzw. der Ersatzteil-Instandsetzung zugeführt.

#### Schrottpresse

Sofern die Demontage-Anlage nicht an einem Shredderstandort untergebracht ist, ist es für den wirtschaftlichen Transport notwendig, die nach der Demontage vorliegende Rohkarosse mittels einer Presse zu verdichten.

Für den innerbetrieblichen Transport der Karossen sowie der Sammelbehälter können sowohl Gabelstapler, als auch Elektro-Schlepper eingesetzt werden. Anlagen mit hohen Durchsätzen sollten mit automatischen Beförderungssystemen z. B. Traggelenförderer ausgestattet werden.

#### 4.2.2 Innerbetriebliche Logistik

Die Anforderungen an das innerbetriebliche Logistiksystem resultieren sowohl aus der technischen Aufgabe, die Demontageplätze mit Kraftfahrzeugen zu versorgen und die demontierten Materialmengen innerhalb bestimmter Zeitintervalle zu den Lagerbereichen zu transportieren, als auch aus den wirtschaftlichen Zielen, möglichst geringer Transport- und Lagerkosten.

Die Demontage von Altautos ist ein technischer Prozeß, bei dem ein Objekt, das aus rund 10.000 Teilen besteht, so zerlegt wird, daß eine weitestgehend stoffklassenreine Trennung der Teile erfolgt. In einem Fahrzeug können bis zu 40 verschiedene Materialien verarbeitet sein. Da ein beträchtlicher Teil, vor allem der Kunststoffe, als Gemische und Verbunde vorliegt, muß mit ca. 10 bis 15 Stoffklassen gerechnet werden, nach denen zu sortieren ist.

Die logistische Aufgabe im Rahmen der Altauto-Zerlegung besteht darin, alle erforderlichen Transport- und Lagerprozesse für eine gegebene Teile-Kapazität kostenminimal durchzuführen.

In Tabelle 4.2 sind die Materialmengen aufgeführt, die in einer Anlage mit einem jährlichen Durchsatz von 20.000 Fahrzeugen anfallen würden. Die Mengen basieren auf einer qualitativen Bewertung der Materialzusammensetzung eines Fahrzeuges des Baujahres 1985 [4.2]. Diese Materialmengen wären, die Totaldemontage vorausgesetzt, von den Demontagearbeitsplätzen zu den stoffklassenspezifischen Sammelbehältern bzw. zum Ersatzteillager zu transportieren.

Die tatsächlichen Mengenströme sind von der Demontagetiefe und den zu gewinnenden Ersatzteilen abhängig. In Tabelle 4.3 sind die geschätzten Materialströme für eine mittlere Demontagetiefe (ca. 60 Gew.-% ausbaubare Teile werden entnommen) aufgeführt.

Das gesamte Logistiksystem besteht im wesentlichen aus den Subsystemen: Transport, Lagerung und Steuerung, in denen wirtschaftliche, prozeßtechnische und arbeitsgestalterische Anforderungen berücksichtigt werden müssen.

### Wirtschaftliche Anforderungen

Mit dem Ziel, die Demontageanlage wirtschaftlich zu betreiben, sind bei gegebener Systemleistung insbesondere möglichst geringe

- Investitionen und
- Lohnkosten

anzustreben. Beide Kostenarten werden wesentlich vom Automatisierungsgrad des Systems bestimmt. Mit zunehmender Automatisierung sinkt zwar der Lohnkostenanteil an den Betriebskosten, jedoch steigen die kapitalabhängigen Kosten durch höhere Aufwendungen für Abschreibungen.

### Transport- und Lagersystem

Bei einem Durchsatz von jährlich 20.000 Kfz sind geringe automatisierte, z. T. manuell betriebene Transportsysteme (z. B. selbstfahrende Hubwagen, Gabelstapler, Transportbänder u. ä.) für die ausgebauten Teile wirtschaftlich vertretbar.

Unter der Annahme, daß von 75 % der demontierten Altfahrzeuge jeweils 5 gebrauchsfähige Ersatzteile zu gewinnen sind, ergeben sich im Mittel 300 Teile die pro Tag ein- bzw. auszulagern sind.

Die wirtschaftlichste Lösung für eine solche Größenordnung stellen Flachregallagersysteme mit manueller Ein- und Auslagerung dar.

Die verwertbaren Materialien, Teile und Baugruppen werden in geeigneten Behältnissen (Containern und Gitterboxen) gesammelt. Der Transport dieser kann z. B. mittels Stapler erfolgen.

Als günstige Variante für die Zwischenlagerung zu verwertender Materialien (z. B. Kunststoffverkleidungen) bietet sich die Verwendung stapelbarer Container an.

### Steuerungssystem

Die Anforderungen an die Steuerung des Transport- und Lagersystems orientieren sich einerseits am technischen Niveau dieser Systeme, andererseits jedoch auch am Stand der Technik. Die Verwaltung des Lagers mit Hilfe eines rechnergestützten Lagerverwaltungssystems ist sowohl technisch wie auch wirtschaftlich erforderlich.

Eine rechnergestützte drahtlose Transportsteuerung ist zwar dem Stand der Technik entsprechend, jedoch scheint der damit erreichbare Zugewinn an Kapazitätsauslastung wirtschaftlich nicht vertretbar zu sein. Es ist daher lediglich zu fordern, daß die Transportsteuerung sicherstellen sollte, keine Auslastungsmin-

derungen infolge nicht verfügbarer Transportkapazität entstehen zu lassen.

### Prozeßtechnische Anforderungen

Unter prozeßtechnischen Anforderungen werden diejenigen Anforderungen an die betriebliche Logistik subsummiert, die aus der Art und Weise der Demontage resultieren. Die bisher realisierten Projekte und Anlagen zur Kfz-Demontage weisen in der Regel einen geringen Automatisierungsgrad auf. Zerlegungsvorgänge werden i. d. R. manuell verrichtet.

Für einige Demontagevorgänge wie z. B. das Trennen der Reifen von den Felgen sind automatisierte Teilanlagen verfügbar. Teilautomatisierte Anlagen für die Entnahme größerer Baugruppen z. B. des Motors werden bereits angeboten, ermöglichen aber meist nicht die zerstörungsfreie Demontage.

Prozeßtechnisch sind an das Transport- und Lagersystem folgende Anforderungen zu stellen:

- Einmal getrennte und bestimmte Stoffklassen zugeordnete Teile dürfen nicht wieder vermischt werden.
- Großvolumige Ersatzteile sind sofort zum Lager zu transportieren, um Beschädigungen zu vermeiden (Karosserieteile) und um die weiteren Demontagevorgänge nicht zu behindern.
- Demontierte Fahrzeuge sind sofort zu entsorgen, um eine Blockierung der Kapazitäten zu verhindern.
- Ersatzteile müssen durch eine Kennzeichnung mit dem Quell-Kfz logisch verbunden bleiben, damit die Historie der Teile, die sich aus dem Kfz-Stammdatensatz ergibt, erhalten bleibt.
- Die Regallager sind nach Teileklassen zu organisieren, um ein „manuelles“ Vergleichen der Teile bei ungenügender Teileidentifikation zu ermöglichen.
- Ölführende Teile wie Motoren und Getriebe sind separat und in geeigneten Behältnissen zu lagern.

### Arbeitsgestalterische Anforderungen

Wesentlichen Einfluß auf die Gestaltung des logistischen Systems hat die Art der Arbeitsorganisation in der Demontage. Die Arbeitsplätze zum Demontieren und Zerlegen bestimmen die Anordnung der Transportstrecken und damit auch die Art des Transportsystems.

### Transportsystem

Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Transportsystems wachsen mit zunehmender Arbeitsteilung, da die zu demontierenden bzw. zu zerlegenden Baugruppen und Teile einer ebenfalls zunehmenden Anzahl von Arbeitsplätzen zugeführt werden müssen. Arbeitsgestalterisch sind daher Organisationsstrukturen vorteilhaft, die einen hohen Grad an Komplettbearbeitung gestatten (z. B. Inselprinzip).

Beim Einsatz von halbautomatischen Demontagestraßen (vgl. Kap. 4.3.3) trifft diese Arbeitsorganisation vor allem auf die nachgeordnete Baugruppendemontage zu.

Erfolgt die Demontage innerhalb einer Demontagezelle (Inselprinzip), die aus mehreren Einzelarbeitsplätzen bestehen kann, so sind zwei Materialflußströ-

me zu unterscheiden: ein zellinterner und ein zellexterner. Zellintern sollte der Transport bedarfsorientiert durch die Arbeitskräfte erfolgen, die auch die Zerlegung durchführen. Die Übergabe an den zellexternen Transport ist durch Puffer zeitlich vom zellinternen Materialfluß zu entkoppeln.

Die Versorgung der Demontagezellen mit Kraftfahrzeugen sollte bedarfsorientiert erfolgen, um den Arbeitskräften die Möglichkeit zu geben, selbst den Arbeitstakt zu bestimmen. Eine Pufferung von Fahrzeugen im Demontagebereich selbst sollte jedoch vermieden werden, da deren Flächenbedarf hoch ist.

Gänzlich unterschiedliche Transportsystemstrukturen sind erforderlich, wenn die Demontage in Form hochgradig arbeitsteiliger Prozesse erfolgt (z. B. Fließband). Es wäre dann ein Materialflußsystem erforderlich, das die Arbeitsplätze miteinander verbindet. Um eine Taktentkopplung zu ermöglichen, sind in diesem Fall an jedem Arbeitsplatz Vor- und Nachpuffer vorzusehen.

#### Lagersystem

An das Lagersystem im Eingangsbereich der Demontage wird die Anforderung gestellt, unter Beachtung der umweltrechtlichen Vorschriften möglichst viele Altfahrzeuge kostengünstig zu lagern. Es sollte ein wahlfreier Zugriff auf die Kfz erfolgen können, um Fahrzeuge mit gleichen oder ähnlichen Demontagezielen und -anforderungen zusammenstellen zu können.

Die Lagerart ist abhängig von den spezifischen Flächenkosten. Bei geringen Flächenkosten kann die Fahrzeuglagerung ebenerdig nebeneinander erfolgen, bei hohen Flächenkosten ist die Regallagerung zu erwägen.

Für die Lagerung der ausgebauten Ersatzteile sind Regallager vorteilhaft, da sie geringe Investitionen erfordern und einen geringen Raumbedarf bei guter Zugänglichkeit aufweisen. Ihre Anordnung sollte so erfolgen, daß das Lagergut visuell geprüft werden kann, um im Falle ungenauer bzw. nicht eindeutiger Bauteilspezifikation die Teilefindung zu erleichtern.

#### 4.2.3 Demontagetechniken

Der Einsatz von Technologien, Anlagenkombinationen und Werkzeugen zur Kfz-Zerlegung wird wesentlich bestimmt durch

- Durchsatz
- Fahrzeugzustand
- Typenspezifikationen
- Ablauf- und Arbeitsorganisation
- Verbindungstechniken
- Demontagetiefe.

Die Ablauf- und Arbeitsorganisation im Demontagebetrieb basiert auf den Arbeitsweisen der Automobilherstellung und der Kfz-Wartungsunternehmen.

Grundlegend werden die Prinzipien unterschieden:

- Fließprinzip und
- Inselprinzip.

In der konkreten Gestaltung von Demontageanlagen und Betriebsabläufen werden Kombinationen beider Prinzipien vorliegen. So kann das Fließprinzip in Teilbereichen mit dem Inselprinzip kombiniert werden.

Das bietet sich vor allem bei großer Demontagetiefe an. Die Grobdemontage erfolgt im Fließprinzip, die Teildemontage im Inselprinzip.

Aufgrund dessen, daß sich die Entwicklung der Demontagetechniken und Organisationsformen noch in der Entwicklung befindet, läßt sich keine repräsentative Übersicht der verfügbaren Technologien angeben. Dies wird durch das Bestreben der an der Entwicklung beteiligten Unternehmen verstärkt, gewonnenes Know-how aus Konkurrenzgründen zurückzuhalten. Selbst von abgeschlossenen Projekten liegen meist nur allgemeingehaltene Beschreibungen vor. Nachfolgend werden die zwei unterschiedlichen Prinzipien an ausgewählten Beispielen erläutert.

#### Fließdemontage

Demontageanlagen mit Fließprinzip werden als halb- oder teilautomatische Förderstraße in einem festgelegten Zeittakt betrieben.

An den Zerlegestationen erfolgt die Entnahme vorgegebener Fahrzeugteile. Die notwendige Werkzeugausstattung je Station ist darauf abgestimmt.

Demontageanlagen nach dem Fließsystem werden unter anderem von den Firmen AMB, CRS, Noell, Schenk, Sket und anderen angeboten (vgl. Kap. 6.2.4). Als Beispiel für eine halbautomatische Demontageanlage wird nachfolgend das Konzept der Firma G.A.T. vereinfacht wiedergegeben [4.3], deren Realisierung in Zusammenarbeit mit der Firma Aumund Förderbau für einen Leipziger Verwertungsbetrieb vorgesehen war. Das Konzept sieht acht Verfahrens- bzw. Behandlungsstufen vor. Der Karosserietransport erfolgt durch Tragkettenförderer.

In Station 1 werden die Räder entfernt, einschließlich des Reserverades. Desweiteren erfolgt der Ausbau der Starterbatterie. Das Fahrzeug rückt danach zur Station 2. Hier wird die Naßentsorgung vorgenommen. Mittels Absauggeräten werden alle Betriebsflüssigkeiten entnommen und in getrennten Behältern gesammelt. Danach werden die Tanks entfernt. Zur Trennung der Aufhängungen kommt eine hydraulische Handschere zum Einsatz.

In Station 3 erfolgt der Abbau der Kofferraum- und Motorhaube und des Kühlers. Der Motor wird durch eine Reißvorrichtung entfernt. Die Demontage der Federbeine und der Achse vorn schließen sich an.

Die Stationen 1 bis 3 werden in zwei Linien betrieben. Aus der Station 3 werden die Karossen über eine Katzbahn quer heraus transportiert, um anschließend wieder in der Längsrichtung zur Station 4 zu gelangen. Hier erfolgt die Entnahme der Festverglasung, wobei die Handhabung der Glasscheiben durch Manipulatoren mit Saugnäpfen vorgenommen wird. Weiterhin werden die Türen, die Heckklappe und gegebenenfalls das Glasdach entfernt.

Station 5 sieht den Aus- und Abbau der Stoßstangen, der Beleuchtung, Außenverzierungen und der Scheibenwischer vor.

In Station 6 wird das Dach mittels hydraulischen Trennscheren entfernt sowie die Innenausstattung und die Armaturen entnommen. Die Teile werden in getrennten Behältern gesammelt.



**Tabelle 4.4: Zusammenstellung der Demontageschritte gemäß G.A.T. Konzept [4.3]**

Station	Demontageschritt
1	- Batterie - Räder
2	- Tanks - Benzin - Bremsflüssigkeit - Kühlflüssigkeit - Scheibenwaschanlage
3	- Kofferraum- und Motorhaube - Kühler - Motor/Getriebe - Federbeine - Achse vorn
4	- Seitentüren - Fensterglas - Glasdach - Heckklappe
5	- Stoßstangen - Kühlergrill - Scheinwerfer - Heckleuchten - Blinker - Zierleisten - Scheibenwischer
6	- Dach - Kunststoffe - Armaturen - Lenkrad - Ablage - Seitenverkleidung - Sitze - Teppichbeläge
7	- Hinterachse - Kabelbaum - Kabel - Bremsleitung - Abgasanlage
8	- Karosseriepresse

der Fahrzeuge gemäß der vorgegebenen Demontagetiefe erfolgt. Jeder Demontageplatz verfügt über eine Hebebühne mit Druckluft- und Energieanschlüssen und die erforderlichen Demontagewerkzeuge. Eine weitere Zerlegung von Baugruppen erfolgt, soweit dies erforderlich ist, auf Werkbänken, die sich an jedem Demontageplatz befinden. Nur spezielle Arbeiten, z. B. die Teildemontage von Motoren, erfolgen an zentralen Arbeitsplätzen. Für die Sammlung der demontierten Bauteile und Werkstoffe stehen jeweils ca. 15 Sammelbehälter bereit.

Nach Beendigung der Demontage werden die Karosserien von der Hebebühne wiederum auf Transportwagen abgesetzt und einer Flachbettpresse zugeführt.

Die Lagerung der Altfahrzeuge, Wertstoffe und Abfälle erfolgt auf den Hofflächen der Anlage. Das Ersatzteillager sowie der Verkaufsbereich für Ersatzteile befinden sich in der insgesamt 1.500 m großen Halle.

Einen wesentlichen Bestandteil des Anlagenkonzeptes stellt das EDV-System Eva (Entsorgung von Alt-

autos) dar. Neben der Verwaltung der Altfahrzeuge und Ersatzteile unterstützt das System auch den Ersatzteilverkauf. Desweiteren werden automatisch Demontevorschlagslisten generiert, die aus den potentiell im Fahrzeug befindlichen Ersatzteilen und dem aktuellen Lagerbestand resultieren. Die der Demontage vorausgehende Begutachtung des Fahrzeuges, kann somit auf die relevanten Teile beschränkt werden.

Grundsätzlich lassen sich sowohl beim Fließ- als auch beim Inselprinzip gleiche Demontageumfänge realisieren. Die Vorteile des Inselprinzips liegen vor allem in der höheren Flexibilität, auch in Hinblick auf eine gezielte Ersatzteilerzeugung. Gegen das Inselprinzip sprechen vor allem der geringere Automatisierungsgrad sowie der höhere Flächenbedarf, der daraus resultiert, daß an jedem Demontageplatz die gesamte Spannweite der Werkstoffe und Bauteile gesammelt werden muß.

#### 4.3 Produkte und Reststoffe der Autodemontage

Geht man von der vorrangigen Zielstellung der Autodemontage aus, Stoffkreisläufe zu schließen, kann man die Teile, Materialien und Stoffe, deren zielgerichtete Entnahme zu einer Verwertung führen, als Produkte der Demontageanlage bezeichnen.

Reststoffe der Autodemontage sind danach die Teile, Materialien und Stoffe die aus dem Demontageprozeß entstehen, ohne daß für sie eine stoffliche oder auch energetische Verwertung vorgesehen ist.

In Bild 4.4 sind die durch die Demontage eines Kraftfahrzeuges resultierenden Materialströme sowie deren anzustrebende Kreisläufe dargestellt. Mögliche Verwertungswege einzelner Materialien werden in Kapitel 5 erläutert.

##### 4.3.1 Ersatzteilerzeugung

Die mit der höchsten Wertschöpfung gewinnbaren Materialien sind die Bauteile und Aggregate, die nach einer Aufarbeitung in der Fahrzeugproduktion oder als Ersatzteile im Servicebereich Wiederverwendung finden. Folgende Bauteile und Aggregate sind dazu bevorzugt geeignet:

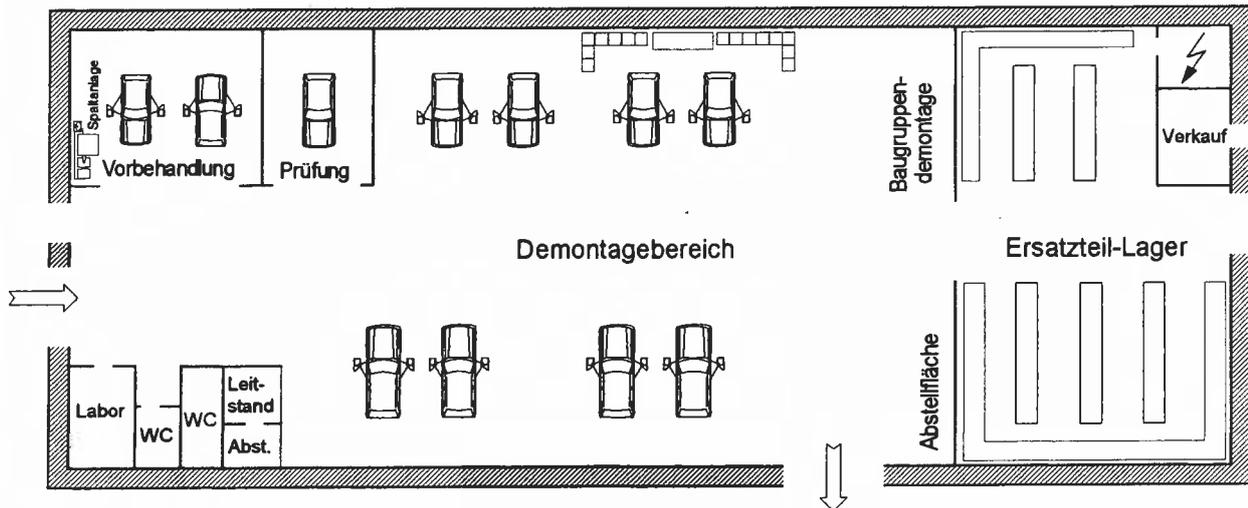
- Motor
- Getriebe
- Lichtmaschine
- Anlasser
- Benzinpumpe
- Achsen, Achsteile
- Vergaser
- Einspritzanlage
- Kühler
- Karosserieteile
- Radio
- Beleuchtung
- Verglasung
- Räder
- Sonderausstattungen

Die Ersatzteilerzeugung stellt für die Verwertungsbetriebe bzw. Demontageanlagenbetreiber einen wesentlichen Erlösfaktor dar.

##### 4.3.2 Stahlschrott, Nicht Eisenmetalle

Den mengenmäßig bedeutendsten Stoffstrom stellt der Stahlschrott in Form der Rest- oder Rohkarosserien

**Bild 4.3: Aufbau (vereinfachte Darstellung) einer Anlage nach dem Inselprinzip am Beispiel der Fa. ALBA**



dar. Die Restkarossen werden nach der Demontage in Schrottpressen paketiert oder flachgepreßt. Entweder können sie in diesem Zustand direkt in der Stahlindustrie verwertet werden (metallurgisches Recycling siehe Kap. 8) oder sie durchlaufen vorher den Shredderprozeß.

Durch die im Demontageprozeß vorgenommene Aus-sortierung von Nicht-Eisen-Metallen vor allem Kupfer und Zink (verzinkte Karosserieteile), wird eine Qualitätssteigerung des Stahlschrotts und somit eine Erhöhung der Erlöse erreicht.

Bei den Nicht-Eisen-Metallen handelt es sich vorwiegend um Aluminium, Kupfer, Zink und Blei. Da sich diese Metalle überwiegend in den Motorenteilen, Aggregaten, der Elektrik und den Rädern befinden, können diese Wertstoffe durch die Demontage gezielt separiert und in der NE-Metallurgie verwertet werden.

#### 4.3.3 Kunststoffe

Um die Kunststoffe stofflich, also als Recyclat, zu verwerten, ist eine sortenreine Erfassung unabdingbar. Dies bereitet bei der Vielfalt der Basispolymere, Blends und Verbunde jedoch erhebliche Probleme. Durch eine recyclinggerechte Konstruktion und Materialwahl bei der Neufahrzeuherstellung könnte Abhilfe geschaffen werden (siehe Kap. 9). Vor allem die Beschränkung der Automobilhersteller auf eine verminderte Anzahl der verwendeten Kunststoffarten wäre ein erster Ansatz.

Bei den z. Z. und in den nächsten Jahren anfallenden Altautos werden nur einige wenige Kunststoffbauteile als Recyclat verwertbar sein. Das sind die Bauteile, deren Kunststoffart eine Wiederverwertung für die Herstellung von Neuteilen erlaubt (z. B. Stoßfänger aus Polypropylen).

Die nicht zu Recyclat verarbeitbaren Kunststoffe z. B. können nur als Sekundärstoff Verwendung finden. Ist auch dies aufgrund der Kunststoffeigenschaften und der vorliegenden Mischungen nicht möglich, bleibt der Weg der chemischen oder energetischen Verwer-

tung. Die Verwertungsmöglichkeiten sind in Kap. 5 dargestellt.

#### 4.3.4 Betriebsflüssigkeiten

Durch die komplette Zerlegung des Fahrzeuges eröffnet sich die Möglichkeit, die enthaltenen, als Sonderabfälle einzustufenden Betriebsmittel, vollständig zu erfassen, und die Bauteile von evtl. Anhaftungen zu reinigen.

Bei den Sonderabfällen handelt es sich im wesentlichen um Kraftstoffe, Motoren-, Getriebe- und Hydrauliköle, Kühl- und Scheibenwaschwässer, Frostschutzmittel, Bremsflüssigkeiten, Batteriesäure etc. An festen Sonderabfallstoffen sind die z. T. noch anfallenden asbesthaltigen Brems- und Kupplungsbeläge, die ölbehafteten Filtermassen, mit Betriebsmitteln verunreinigte Emballagen und die in Fahrzeugen mit Airbag eingesetzten Quecksilberschalter zu erwähnen.

Die getrennt erfaßten Sonderabfälle sind ggf. auf ihre chemische Zusammensetzung hin zu analysieren und entsprechend ihrer Gefährlichkeit zu klassifizieren. Je nach Qualität können einzelne Stoffe (z. B. Öle, Bremsflüssigkeit) aufbereitet und damit verwertet werden.

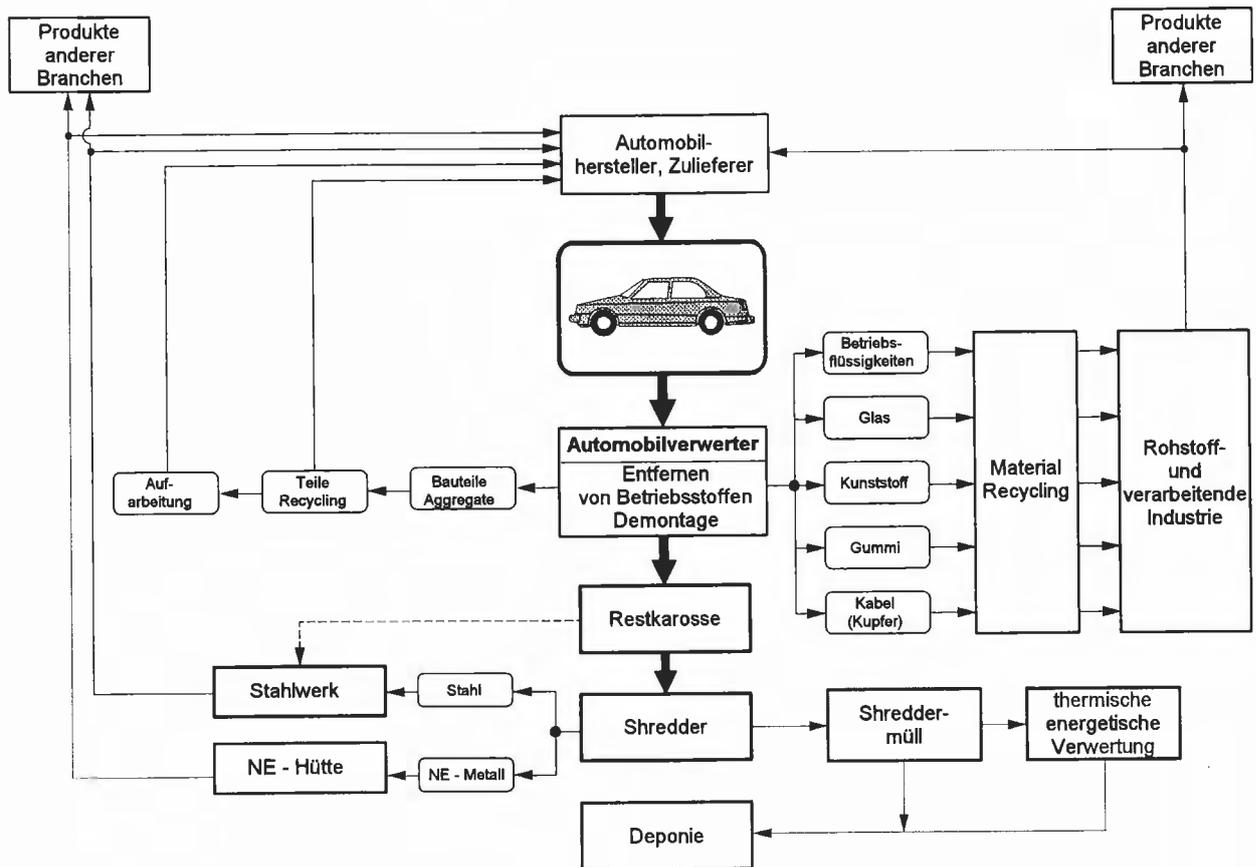
Der Transport und die Entsorgung der anfallenden Sonderabfälle darf grundsätzlich nur durch Entsorgungsfirmen erfolgen, die eine entsprechende Genehmigung zur Beförderung bzw. Beseitigung gemäß der Gefahrgutverordnung Straße (GGVS) bzw. des Abfallgesetzes (AbfG) vorweisen können.

#### 4.4 Reststoffentsorgung

Da durch die komplette Demontage der Autowracks alle Betriebsmittel erfaßt werden können, kommt es zu geringeren Kontaminationen der Reststoffe, so daß diese als hausmüllähnlicher Gewerbeabfall eingestuft werden und somit eine Ablagerung auf Hausmülldeponien erfolgen kann.

Schließt sich der Demontage eine Shredderanlage an, fällt der Reststoff als Shredderrückstand an, des-

Bild 4.4: Materialströme aus der Autodemontage



sen Menge mit zunehmender Demontagetiefe abnimmt.

Auch aus der Demontageanlage selbst sind nicht verwertbare Reststoffe zu erwarten. Bei der Entnahme verwertbarer Teile und Materialien läßt sich der vorhergehende oder gleichzeitige Ausbau unverwertba-

rer Materialien nicht in jedem Fall vermeiden. Dabei ist abzuwägen, ob diese nach Prüfung und Ausschluß aus der stofflichen Verwertung zumindest energetisch nutzbar sind. Ist für den Shreddermüll eine energetische Nutzung vorgesehen, besteht die Möglichkeit, die Reststoffe mit in den Shredderprozeß zu geben.

## 5. Verwertung der Demontageprodukte

### 5.1 Eisen- und Nichteisenmetalle

#### 5.1.1 Eisenmetalle

In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1992 insgesamt 39,8 [5.1] Mio. Mg Rohstahl erzeugt. Der Gesamtschrotteinsatz lag bei ca. 12,8 Mio Mg [5.2]. Obwohl die Stahlerzeugung rückläufig war, stieg der spezifische Schrotteinsatz in der Stahlindustrie von 1992 zum ersten Halbjahr 1993 um 9 %.

Neben der allgemeinen Forderung nach einem von Verunreinigungen sauberen Schrott, werden insbesondere Anforderungen im Hinblick auf Abmessungen und Gewichte, also an die physikalische Beschaffenheit des Schrottes gestellt. Diese Anforderungen sind in der Schrottsortenliste (siehe Tabelle 5.0), die mit der Wirtschaftsvereinigung Eisen- und Stahlindustrie vereinbart wurde, aufgeführt.

Der aus Automobilen stammende Schrott wird überwiegend durch die Shreddertechniken gewonnen (vgl. Kap. 3.5). Dadurch wird einerseits eine relativ hohe Reinheit und eine günstige Schüttdichte des Schrottes erreicht.

Das Kernstück des Altautorecyclings wird auch in nächster Zukunft ein shredderähnliches Aggregat sein [5.2]. Allerdings wird sich durch die vorgeschaltete Demontage der Eingangsstrom, d.h. die Qualität des Shredderinputs, ändern. Mit zunehmender De-

montagetiefe werden sich die Anteile nichtmetallischer Komponenten und der Nichteisenmetalle verringern. Die Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Betrieb von Shredderanlagen könnten somit sichergestellt sein. Die Verringerung der Nichteisenmetalle wird darüberhinaus zu verbesserten Schrottqualitäten führen.

Der Zwang zum wirtschaftlichen Betrieb der Autodemontage wird mittelfristig die Demontagetiefe begrenzen. Es ist zwar durch die Anwendung von Demontagetechniken mit einem Rückgang der Nichteisenanteile im Shredderinput zu rechnen, dennoch dürften die Qualitätsanforderungen guter bis sehr guter Schrotte kaum erreicht werden.

Deshalb ist es notwendig, die Reduzierung der Begleitelemente im Shredderschrott (Kupfer, Chrom, Nickel, Molybdän) voranzutreiben, um die Schrottqualitäten zu verbessern. Dies ist durch die Anwendung von spezifischen Trennverfahren für Fe- und NE-Metalle erreichbar (vgl. Kap. 3.5). Zur Detektion dienen z. B. Röntgenfluoreszenz- und Lasertechniken.

Alternativ zur Shredderaufbereitung des Karosserieschrottes wird das metallurgische Recycling diskutiert (siehe Kap. 8).

Eine weitere Quelle des Anfalls an Stahlschrott aus der Autodemontage stellt der Ausbau von Baugruppen sowie erforderlicher Verbundarbeiten dar. Handelt es sich um nicht durch Störstoffe

(Nichteisen) behaftetes Material, kann dieses gesammelt und so dem Schrotthandel zugeführt werden. Andernfalls sollten diese Teile oder Baugruppen ebenfalls geschreddert werden. Bei voluminösen Teilen kann dies auch für Reineisenmetallteile erwogen werden.

#### 5.1.2 Nichteisenmetalle

Die durchschnittlichen Mengen der NE-Metalle im Automobil sind in Bild 5.0 dargestellt. Das durchschnittliche Gewicht der Nichteisenmetallen eines Mittelklasse-Pkws beträgt z. Z. ca. 75 kg [5.3]. Den Hauptanteil der NE-Metalle stellt das Aluminium dar, dessen Einsatz im Automobilbau weiter zunehmen wird. Die größte Teil des im Pkw vorhandenen Bleis wird über das Recycling von Bleiakkulatoren verwertet (siehe Kap. 5.7.).

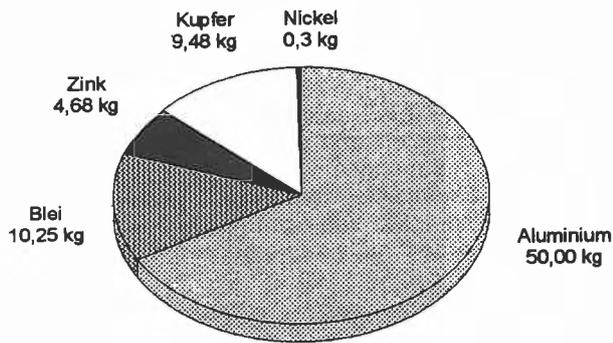
Der überwiegende Teil des im Automobilbau eingesetzten Kupfers befindet sich in den Kabelbäumen. Das Zink stammt hauptsächlich aus der Elektrik, Kleinbauteilen und der Verzinkung von Karosserieteilen.

Die Sortierung der NE-Metalle erfolgt z. Z. häufig noch von Hand und in

**Tabelle 5.0: Sortenliste für unlegierten Stahlwerkschrott**

Sorten	Sortenbeschreibung
Sorte 0	Altschrott, mind. 3 mm Stärke, Höchstabmessungen 1,5 x 0,50 x 0,50 m
Sorte 1	Altschrott, mind. 6 mm Stärke, Höchstabmessungen 1,5 x 0,50 x 0,50 m
Sorte 2	Neuschrott, mind. 3 mm Stärke, Höchstabmessungen 0,6 x 0,50 x 0,50 m und Neuschrott, mind. 5 mm Stärke, Höchstabmessungen 1,5 x 0,50 x 0,50 m
Sorte 3	schwerer Industrieabbruch- und Konstruktionsschrott (frei von Rohrschrott, mind. 8 mm Stärke, Höchstabmessungen 1,5 x 0,50 x 0,50 m
Sorte 4	Shredderschrott
Sorte 46	aufbereiteter Müllverbrennungsschrott, Schüttgewicht (i.Tr.): mind. 0,9 Mg/m <sup>3</sup> ; Korngröße: Obergrenze 50 - 70 mm, max. Gew.-% 5 mm Fe-Gehalt: mind. 92%, Nässe: gesonderte Vereinbarung
Sorte 47	aufbereiteter Müllseparationsschrott (getrenntes Recycling von Dosen), Schüttgewicht (i.Tr.): mind. 0,9 Mg/m <sup>3</sup> Korngröße: Obergrenze 50 - 70 mm, max. 5 Gew.-% < 5 mm Fe-Gehalt: mind. 92%, Nässe: gesonderte Vereinbarung
Sorte 5	Stahlspäne frei von Guß-, Automaten- und wolligen Spänen, mit Magnet entladbar
Sorte 6	Pakete aus neuem, leichten Blechschrrott
Sorte 7	Pakete aus altem Blechschrrott
Sorte 8	Neuschrott, mind. 3 mm Stärke, über 0,6 m Länge, mit Magnet entladbar, zum Pressen geeignet

**Bild 5.0: Durchschnittliche NE-Metallmengen eines PKW**



Schwimm-Sink-Anlagen. Neue Methoden der Detektion und Sortierung von NE-Metallen befinden sich in der Entwicklung (siehe Kap. 3.5).

Neben der Gewinnung von NE-Fractionen aus der Shredderschwerfraktion ermöglicht die Autodemontage die Sammlung und Verwertung von Nichteisenmetalleiten für das Materialrecycling.

### Aluminium

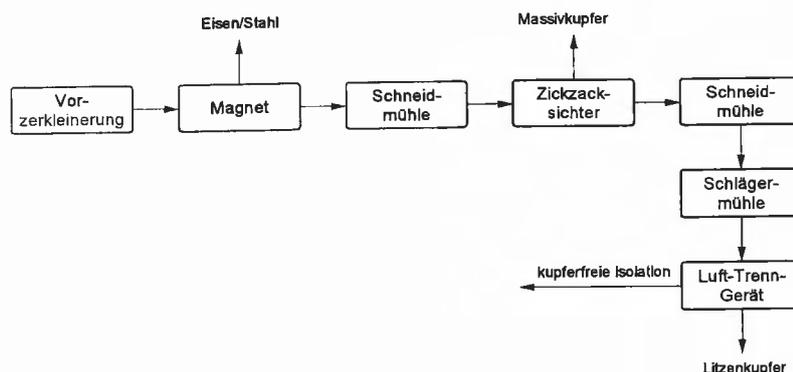
Mehr als 90 % des im Automobilbau eingesetzten Aluminiums werden heute bereits zurückgewonnen [5.4]. Die Herstellung von Sekundäraluminium ist mit einem mehr als 80 % geringeren Energieaufwand gegenüber der Primäraluminiumherstellung verbunden. Vorrangige Einsatzgebiete von Sekundäraluminium sind der Motorbereich und Komponenten des Fahrwerks (z. B. Lagergehäuse). Bedeutender Vorteil des Aluminiumeinsatzes sind die Korrosionsbeständigkeit und das geringere Gewicht im Vergleich zu Eisen- und Stahlguß. Nachteilig sind die geringere Verschleiß- und Temperaturfestigkeit.

Die Technologie von Sekundäraluminiumhütten nach dem Stand der Technik ermöglicht Werkstoffrecycling ohne Qualitätseinbußen [5.4].

### Kupfer

In einem Mittelklassewagen befinden sich ca. 9 kg Kupferkabel [5.5]. Der Hauptteil befindet sich in den Kabelbäumen, die im Demontageprozeß entfernbar sind. Weitere Kupferanteile befinden sich in den

**Bild 5.1: Prinzipielles Vorgehen bei der Kabelaufbereitung [5.6]**



Wicklungen des Anlassers und der Lichtmaschine sowie anderen Kleinelektromotoren.

Die Gewinnung des Kupfers aus dem Kabelbaum erfordert die Trennung der Kupferlitze vom Isoliermaterial. Thermische Trennverfahren sind i. d. R. mit problematischen Emissionen verbunden, daher werden verstärkt kaltmechanische Methoden eingesetzt.

Das prinzipielle Vorgehen bei der Kabelaufbereitung ist in Bild 5.1 dargestellt [5.6].

Der so gewonnene Kupferschrott kann in Sekundärkupferhütten eingeschmolzen werden. Qualitätseinbußen bei Produkten aus Sekundärkupfer sind nicht zu verzeichnen. Das Isolationsmaterial, meist PVC, sollte dem Kunststoffrecycling zugeführt werden.

### Zink

Mehr als 100 Präzisionsteile eines modernen Automobils sind aus Zinkdruckguß [5.5]. Die im Demontageprozeß anfallenden Zinkteile können eingeschmolzen und wieder zu hochwertigen Zinkguß-Legierungen verarbeitet werden. Aus diesen Legierungen lassen sich wiederum Präzisionsteile unveränderter Qualität fertigen.

Karosserieteile werden im Automobilbau zunehmend verzinkt. Bei der Verhüttung des Stahlschrott können hohe Zinkanteile zu Problemen bei der Abluftreinigung führen. Das Zink fällt dabei im Gichtgasstaub an. Dieser kann jedoch in Sekundärhütten verwertet werden.

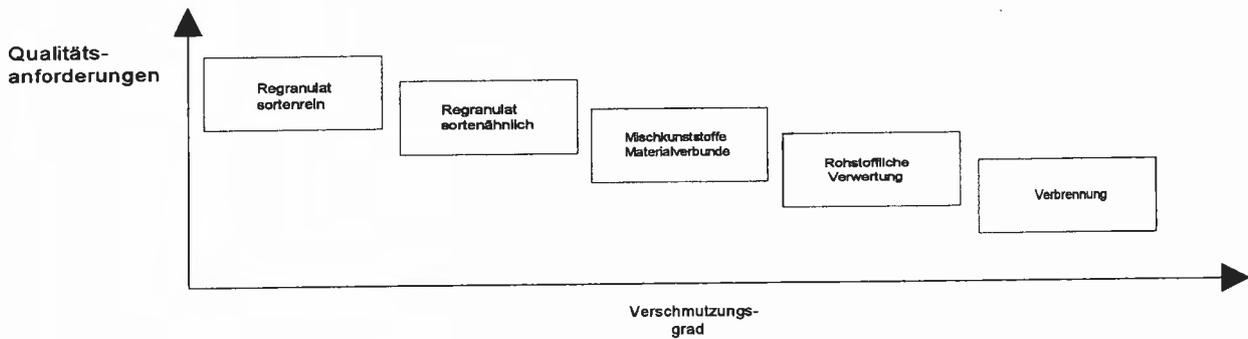
## 5.2 Kunststoffe

### 5.2.1 Probleme der Wiederverwertung von Kunststoffen

Kunststoffteile in Kraftfahrzeugen sind im Laufe ihrer Nutzung mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen (Bewitterung, Temperatur, Öl, Säure, Lacke etc.) ausgesetzt. Dadurch unterliegen die aus Altkunststoffen hergestellten Granulate stark schwankenden Qualitätseigenschaften die deren Recyclateinsatz begrenzen.

Ein Problem, das bei mehrfacher Recyclierung von Bauteilen auftreten kann, ist die von Charge zu Charge ansteigende Aufkonzentrierung des Recyclateanteils, der aufgrund der thermischen und mechanischen Belastung während der Produktion zu Veränderungen in den Bindungsstrukturen des Kunststoffes führt. Kritisch sind derzeit noch Recyclate aus lackierten Kunststoffteilen, da sich aufgrund der unzureichenden Entlackungstechniken Restpartikel von Lacken im Recyclingmaterial befinden. Diese Restpartikel sind für das Auftreten von Fehlstellen in den Bauteilen verantwortlich. Mit diesem Material können die bestehenden Anforderungen und Qualifikationskriterien für hochwertige Bauteile nicht immer erfüllt werden. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit ab, Qualitätsanforderungen zu überprüfen und ggf. neu festzusetzen mit der Maßgabe, möglichst viele Sekundärwerkstoffe wieder originär einzusetzen; es

**Bild 5.2: Kaskade der Kunststoffverwertung**



sei denn, gravierende Sicherheitsanforderungen sprechen dagegen.

In Bild 5.2 ist eine Kaskade der Kunststoffverwertung dargestellt.

**Verwertungswege für Kunststoffe**

Die möglichen Verwertungswege für Kunststoffe sind abhängig von der Art der Kunststoffe und dem Vermischungsgrad (Fremdstoffanteil) mit anderen Werkstoffen.

Mögliche Verwertungswege – nach den Qualitätsanforderungen gegliedert – sind:

- Regranulierung sortenreiner Kunststoffe,
- Umschmelzverfahren für gemischte Kunststoffe zur Herstellung von Mischverbunden,
- Verwertung als Füllstoff (Duroplaste, SMC) zur Herstellung von Materialverbunden,
- Zerlegung in chemische Grundstoffe (Hydrierung, Pyrolyse, Solvolyse).

Die Verfahren unterscheiden sich im notwendigen apparativen Aufwand, im technischen Entwicklungsstand und im Grad der Erhaltung der kunststoffspezifischen Materialeigenschaften. Die Tabelle 5.1 gibt eine von BMW erarbeitete modifizierte Klassifizierungsmatrix wieder, in der die Eignung der verschiedenen Kunststoffteile für das Recycling bewertend gegenüber gestellt ist [5.7].

Beispielhafte Verwendungsmöglichkeiten sortenreiner Regranulate sind anhand einer Auswahl verschiedener Projekte in Tabelle 5.2 beschrieben [5.24].

Die Kunststoffe werden generell in Duro- und Thermoplaste eingeteilt:

**Duroplaste**

Duroplastische Kunststoffe bilden im Gegensatz zu Thermoplasten erst beim Verarbeitungsprozeß ihre vernetzte dreidimensionale Struktur aus. Sie sind danach nicht mehr schmelzbar.

Die stoffliche Verwertung erfolgt daher als Partikelrecycling. Feingemahlene Duroplastpartikel können der Neuware als Füllstoff zugesetzt werden. Da zur Herstellung von Duroplasten ohnehin Füllstoffe (Mineralstoffe, Holz- und Zellulosefasern) benötigt werden, bietet es sich an, einen Teil dieser Füllstoffe durch Duroplastpartikel zu ersetzen.

**Thermoplaste**

Einige der gebräuchlichsten Thermoplaste sind PP (Polypropylen), PE (Polyethylen), PA (Polyamid) und PVC (Polyvinylchlorid). Ihr gemeinsames Merkmal ist, daß sie bei einer Temperatur um 200 °C schmelzen und in Form gebracht werden. Grundsätzlich sind diese Kunststoffe immer wieder aufschmelzbar.

Für die stoffliche Wiederverwertung von sortenreinen Thermoplasten ist eine Verarbeitung zu Regranulat als Ausgangsmaterial für den originären Einsatz möglich. Das Altmaterial muß jedoch zuerst einer Aufbereitung unterzogen werden (Waschen, Trocknen, Mahlen etc.), bevor es als sortenreines Mahlgut weiterverarbeitet werden kann.

**5.2.2 Regranulat sortenrein**

In Deutschland gibt es eine Vielzahl von Kunststoffverwertungsbetrieben, die sortenreine Thermoplaste regranulieren. Vorwiegend werden jedoch Produktionsabfälle verarbeitet.

Bei der Verwertung der Kunststoffe aus Altfahrzeugen stößt das Um- und Aufschmelzen an seine Grenzen, wenn technische Spezialkunststoffe (verschiedene Rezepturen), zumal unterschiedlicher Hersteller, verwertet werden sollen. Daher werden meist Anteile sortenreiner frischer Kunststoffgranulate den Recyclern zugesetzt.

Sortenreine Thermoplaste können zerkleinert und wie Neugranulat extrudiert werden. Durch die Erhitzung tritt zwar ein Qualitätsverlust ein, dennoch bleiben die kunststoffspezifischen Eigenschaften soweit erhalten, daß das Regranulat für einen anderen als den ursprünglichen Einsatzzweck verwendet werden kann.

Nahezu alle Automobilhersteller verwenden inzwischen bei der Herstellung einiger Kunststoffteile, die keinen sehr hohen Beanspruchungen unterliegen, Sekundärmaterial.

Den gegenwärtigen Stand des Recyclings von sortenreinem Kunststoff im Automobilbau zeigen nachfolgende Beispiele:

Das international einheitliche Material-Kurzzeichen nach der ISO-Norm und die darauf aufgebaute Empfehlung 260 des Verbandes der Autoindustrie (VDA) e.V. geben die Möglichkeit, die anfallenden Kunststoffteile gleicher Fraktionen sortenrein zu sammeln. Diese Kennzeichnung der Kunststoffe wird bei Opel seit 1979 durchgeführt.

Tabelle 5.1: Bewertung der Recycelbarkeit von Kunststoffen nach [5.7]

Kriterien	Erhalt der wichtigsten Werkstoffeigenschaften, geringer Aufwand	Kalkulierbare Eigenschaftsverluste, mäßiger Aufwand	große Eigenschaftsverluste, erhöhter Aufwand	enorme Eigenschaftsverluste, sehr hoher Aufwand
<b>Herkunft</b>	<b>Sortenreine Thermoplastteile, unlackiert</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Abdeckungen im Motorraum</li> <li>– Luftführende Teile im Motorraum sowie im Bereich Heizung/Klimatisierung</li> <li>– Kunststoffsauganlagen</li> <li>– Kunststoffkraftstoffbehälter</li> <li>– Abdeckungen im Bereich Fahrzeugboden und Kofferraum</li> <li>– Sitz- und Kabelabdeckungen</li> </ul>	<b>Sortenreine Thermoplastteile, lackiert</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Stoßfängerverkleidungen</li> <li>– Frontziergitter</li> <li>– Lufteinlaß-/auslaßgitter</li> <li>– Blenden im Bereich Instrumententafel</li> <li>– Kofferraum-/Ladekantenabdeckungen</li> <li>– Radzierblenden</li> </ul>	<b>Sortenreine Duromere</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– PUR-RIM-Teile</li> <li>– SMC-Teile (z.B. Stoßfängerträger)</li> </ul>	<b>Holzfaserverform/Pappträger</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tür-Innenverkleidungen, Hutablagen, Dach-Formhimmel, Reserveradabdeckungen</li> </ul>
<b>Materialart</b>	<b>Basiswerkstoff-Verbunde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbundteile, bestehend z.B. aus PP-Träger, PP-Folie, PP-Schaum</li> </ul>	<b>Sortenreine PUR-Schäume</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kopfstützen-Polster-teile, Sitzkissen</li> </ul>	<b>Textil-PUR-Schaum-Verbunde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sitzpolster, hinter-schäumt</li> </ul>	<b>Kunststoff-Metall-Verbunde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sonnenblenden,</li> <li>– Schiebedachrahmen,</li> <li>– Verstellhebel</li> <li>– Elektrik-/Elektronikteile</li> </ul>
		<b>Verbunde aus verträglichen Thermoplasten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Teile aus ABS + PC, ABS + PVC, PPO + PA</li> </ul>	<b>Textil-Thermoplast-Verbunde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verkleidungsteile, folien- oder textilkaschiert (z.B. Säulenabdeckungen innen)</li> </ul>	<b>Duromerverbunde</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bodenteppiche, Hardtops</li> </ul>
<b>Bewertung</b>	<b>Sehr gut</b>	<b>Gut</b>	<b>Ausreichend</b>	<b>Ungenügend</b>

Als Schwerpunkt der Entwicklungsarbeit beim Kunststoffrecycling konzentrierte sich die Adam Opel AG vorerst auf Polypropylen.

Die Fahrzeugtypen Vectra, Calibra und Astra enthalten bereits rund 40 Kilogramm Recyclat. Das entspricht 34 Gew-% des gesamten Kunststoffanteils. Polypropylen läßt sich leicht modifizieren und kann mehrfach ohne große Eigenschaftseinbußen wiederverwertet werden. In einem ersten Projekt wurde 1988 die Herstellung von Radauskleidungen aus Batteriegehäuse-Recyclat erprobt. Mittlerweile ist die Produktpalette der aus Regeneraten gefertigten Teile wesentlich umfangreicher. Hierzu gehören Radauskleidungen, Stoßfängerträger und Luftfiltergehäuse, die aus alten Batteriegehäusen und Stoßfängern hergestellt werden. Ergebnis des Aufbereitungsverfahrens von Starterbatterien ist ein Polypropylen-Mahlgut mit einem Reinheitsgrad von 99,5 % [5.8].

Die Volkswagen AG hat 1991 damit begonnen, beim Modell Polo serienmäßig Stoßfänger aus Recyclingkunststoff einzusetzen. Ausgangsmaterial hierfür sind gebrauchte, sortenrein behandelte Stoßfänger der

Fahrzeugtypen VW und Audi aus Polypropylen, die nach entsprechender Compoundierung als Kunststoffgranulat in die Produktion zurückfließen.

Im Volkswagenwerk Braunschweig werden Kfz-Kunststoffteile für Schalttafeln und den Innenbereich aus Recyclingmaterial, welches aus Produktionsrückständen stammt, hergestellt. Ebenso enthält die Geräuschabschirmung im neuen Audi 80 100 % Polypropylen aus Altbatterien [5.9].

Bei BMW wird die Materialrückführung von bestimmten Kunststoffteilen seit 1991 praktiziert. [5.10] Zur Aufbereitung von PBT+PC-Blend (Polybutylenterephthalat + Polycarbonat-Blend) werden die im Werk Landshut bei der Produktion und Lackierung von Stoßfängerverkleidungen anfallenden Ausschußteile sowie Altstoßfänger, gemahlen, gesichtet und anschließend regranuliert.

Auch wird der Kunststoff PA + GF (Polyamid + Glasfaser) aus Sauganlagen bereits in 100 %iges Regranulat überführt, welches bei Qualitätsuntersuchungen Ergebnisse aufwies, die eine Freigabe des Materials für die Nockenwellenabdeckung möglich machte.

**Tabelle 5.2: Auswahl einiger Projekte zur stofflichen Verwertung von Thermoplasten [5.24]**

Firma	Bauteil/Werkstoff	Ergebnis/Bemerkung
BASF, VW, Audi	Kraftstoffbehälter aus HDPE	Durch Nachstabilisierung gute Materialkennwerte, Serienfreigabe ist geplant
BASF, VW	Stoßfängerbefestig. aus PBT/PC-Blend, lackiert	Geringe Einbußen der mechanischen Eigenschaften gegenüber Neuware
BASF, VW	Kühlergitter aus ASA	Materialwerte des Recyclats vergleichbar mit Neuware
BASF, BMW	Kraftstoffbehälter aus HDPE	Einige mechanische Kennwerte können Werte der Qualitätsvorschrift noch nicht erfüllen
Bayer	Radkappen aus PA u. Füllstoffen	Geeignet für Bauteile mit geringeren Ansprüchen (Abdeckungen etc.)
Bayer	PUR aus Dachhimmeln	Klebpressen, Anwendung als Hutablage vorgeschlagen
Bayer	Kühlerschutzgitter aus ABS	Hochwertiges Recyclat für Sekundäranwendung
Bayer	Stoßfänger aus PBT/PC-Blend, lackiert	Herstellung von hochwertigen Recyclaten möglich, Serienfreigabe angestrebt
DSM, VW	Stoßfänger aus EMPP	Recyclat für Serieneinsatz im Polo freigegeben
ERCOM	Bauteile aus Automobil- u. Elektroindustrie	Qualitätsgesichertes SMC-Recyclat erhältlich
Hoechst, Opel, Metallgesellschaft	Altbatteriegehäuse aus PP, Stoßfänger aus EMPP	Einsatz in Bauteilen mit geringeren Ansprüchen (Radhausauskleidung (in Serie im Opel Calibra), Stoßfängerträger, Luftfiltergehäuse)
Hüls, Opel	Kühlwasserausgleichsbehälter aus PP	Hochwertiges Recyclat, Eignung zum originären Einsatz wird geprüft
Opel	Stoßfänger aus PC modifiziert	Recyclat für Serieneinsatz (Halter Dachspoiler) im Astra
Opel	PUR-Weichschaum aus Polsterauflage	Herstellung von Dämmatten zur Geräuschisolation
Peguform	Stoßfänger (lackiert) aus PP/EPDM	Biege-E-Modul fällt ab Zugabe von 30 % Recyclat stark ab, keine Wertung bezüglich der Wiederverwertung
GEP, Ford, TU Berlin	Trennung von PUR-hinterschäumten Stoßfängern aus einem PC/PBTP-Blend	Versuche mit verschiedenen Trennmethode
Metallgesellschaft	Trennung von Metall-Kunststoffverbunden (Schalter)	Probleme bei der Identifizierung der Kunststoffarten

In der chemischen Industrie werden ebenfalls Kapazitäten für Recyclingkunststoffe geschaffen. Im Werk Knapsack der Hoechst AG wurde eine nach DIN ISO 9001 zertifizierte Anlage mit einer Kapazität von 5.000 Mg/Jahr PP (Polypropylen)-Recyclat gebaut. Die mit einem Investitionsaufwand von 12,5 Mio. DM errichtete Anlage wurde im September 1992 in Betrieb genommen. Die Produkte dieser Anlage sind Qualitäts-Werkstoffe mit definierten Eigenschaften, die in das bestehende PP-Produktsortiment von Hoechst aufgenommen wurden [5.11].

### 5.2.3 Regranulat sortenähnlich – Mischverbunde

Aus thermoplastischen Kunststoffgemischen können durch Umschmelzen dickwandige Gegenstände hergestellt werden. Vor der Verwertung der Altmaterialien ist hier lediglich eine grobe Sortierung und Reinigung notwendig.

Die Grenzen der Verwendung von Kunststoffgemischen liegen vor allem im Markt für die erzeugten Sekundärprodukte. Häufig wird durch diese Produkte kein Neukunststoff substituiert, sondern andere Werk-

stoffe, z. B. Holz, Metalle. Dies bedingt die Begrenzung des Marktes. Die kunststoffspezifischen Eigenschaften gehen beim Umschmelzen größtenteils verloren. Der Sekundärrohstoff ist desweiteren nicht exakt definierbar, da meist keine genaue Kenntnis der Eingangsprodukte vorliegt. Bei Recyclaten aus Kunststoffgemischen ist nur eine begrenzte Zahl von Umschmelzvorgängen möglich, da mit jedem Vorgang der Fremdstoffanteil angereichert wird, und damit die Qualität des Produkts stark gemindert wird.

Bei den Fahrzeugmarken VW und Audi bestehen die Kühlergrills älterer Fahrzeuge aus einem technischen Thermoplast auf ABS (Acrylnitril/Butadien/Styrol) -Basis. In einem gemeinsamen Entwicklungsprojekt haben die Volkswagen AG und die Bayer AG die Recyclingfähigkeit des Thermoplast „Novodur“ überprüft. Die demontierten Alteile wurden sortenrein gesammelt, gereinigt, zerkleinert, und nach Abmischung mit 70 % Neuware zu neuen Kühlerschutzgittern wiederverwertet. Die aus dem ABS-Recyclat hergestellten Komponenten weisen eine sehr gute Oberflächenbeschaffenheit auf, die optisch keinen Unterschied zu aus Neuware hergestellten erkennen läßt. Untersu-

chungen des Sekundärwerkstoffes auf seine mechanischen Eigenschaften hin zeigten ein nahezu vergleichbares Eigenschaftsniveau [5.9].

Polyurethan-Weichschaum, der als Polsterauflage eingesetzt wird, fällt bei der Produktion selbst, sowie bei der Fahrzeugverschrottung in großen Mengen an. Nach Zerkleinerung zu Schaumflocken und Versetzung mit einem Bindemittel auf Polyurethanbasis können geräuschisolierende Matten hergestellt werden. Seit Ende 1991 werden derartige Matten aus 100% recyceltem Polyurethan z. B. im Opel Vectra serienmäßig eingesetzt.

Bei BMW werden durch die Aufbereitung von Polyurethan-Schaum Flockenverbundteile hergestellt, deren Härte größer ist als die der ursprünglichen Schaumteile. Die Flockenverbundteile finden Anwendung als Versteifungen im Kfz-Innenbereich und für Kopfstützen.

Polycarbonat ist ein weiterer Kunststoff, für den eine Kreislaufschließung versucht wird. Verwertet werden hierbei die lackierten Stoßfänger des Opel Senator. Der Werkstoff, ein Polycarbonat/Polybutylenterephthalat-Blend, findet Eingang bei der Herstellung des Dachspoilers für den Opel Astra [5.8].

Für die Wiederverwertung von Kunststoffmaterial aus Behältern für flüssige Betriebsmittel wurden und werden zahlreiche Versuche durchgeführt.

Bei Volkswagen wurde die Recyclingmöglichkeit von Kunststofftanks untersucht.

Die Arbeiten umfaßten die Regranulierung des Materials und das Verarbeiten zu Probekörpern. Die Probekörper wurden bis zu 15mal eingemahlen und anschließend wieder verarbeitet. Die Werkstoffkennwerte wiesen einen nur geringen Qualitätsverlust auf.

Im Zuge der Aufbereitungsversuche von Verbundstoffen ergab sich, daß die Abstimmung der Materialkombination die Verwertbarkeit wesentlich beeinflusst. So war Trägermaterial in Kombination mit einer ASA-Folie gut aufzuarbeiten. Trägermaterial in Verbindung mit PVC-Folie war dagegen kaum verwertbar [5.7].

Bei der Mercedes-Benz AG finden Werkstoffabfälle wie PVC-Folien und Kunstleder, mit denen Teile der Innenausstattung bezogen werden, Zweitanwendungen in Steinschlag-Schutzauskleidungen, Schmutz-

fängern für Nutzfahrzeuge oder Pkw-Trittschutzelagen. Für die neue S-Klasse propagiert Mercedes-Benz sogar die Wiederverwertung von glasfaserverstärkten Kunststoffen [5.13].

In Forschungsarbeiten des Automobilherstellers Nissan [5.14] gelang es, ein neues Verfahren zum Recycling von Kunststoffteilen in stanzbare Platten zu entwickeln. Die produzierten Kunststoffplatten weisen gute Eigenschaftsmerkmale auf und erfüllen Qualitätsanforderungen bezüglich Stabilität und Starrheit, wie sie z. B. bei Stoßfängern gefordert werden.

Der Herstellungsprozeß beinhaltet eine Zerkleinerung von Thermoplast-Altteilen zu Chips und eine Zumischung von Glasfaseranteilen und Puderthermoplasten. Die entstandene Materialmasse kann mit einem, der Papierherstellung vergleichbaren Verfahren, zu Platten geformt werden. In nachfolgenden Verarbeitungsschritten werden die Platten gestanzt und zu Neuteilen verarbeitet.

Eine Entlackung der Kunststoffteile ist nicht notwendig.

Seit 1991 läßt Peugeot deutschlandweit ausgediente Stoßfänger einsammeln und granulieren. Das Granulat wird als Rohstoff zur Herstellung neuer Kunststoffe, die wiederum zur Herstellung von Kfz-Teilen dienen, eingesetzt.

#### 5.2.4 Mischkunststoffe -Materialverbunde

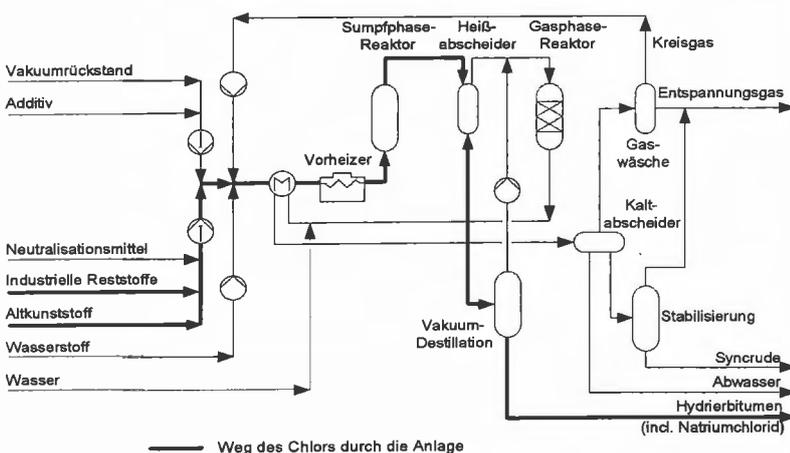
Materialverbunde aus Kunststoffen entstehen durch die Einbringung von Feststoffpartikeln- oder -fasern in die Kunststoffmasse bevor diese erstarrt oder aushärtet. So können Duroplastpartikel als Zuschlagstoff bei der Neuherstellung von Kunststoffen zum Erreichen gewünschter mechanischer Eigenschaften verwendet werden. Vergleichbar ist dies mit dem bekannten Zusetzen von Glasfasern zur Versteifung von Kunststoffprodukten.

Duroplaste sind festvernetzte Kunststoffe, die noch bei höheren Temperaturen härter und fester sind als Thermoplaste. Bislang galten sie als nicht wiederverwertbar, da ihre Werkstoffstruktur irreversibel ist. Sie bestehen aus Reaktionsharzen, die zumeist mit Glasfasern und Füllstoffen vermischt werden und erreichen hohe Festigkeitswerte. Faserverstärkte Duroplaste sind z. B. SMC (Sheet Molding Compound) und BMG (Butadien, Mineralverstärkung Glas). Eine der vielen Anwendungsmöglichkeiten sind stark beanspruchte Fahrzeugteile wie z. B. Karosserieteile, Stoßstangen oder Schiebendachrahmen.

Die Wiederverwertung faserverstärkter Duroplaste wird durch sogenanntes Partikelrecycling erreicht. Hierzu werden die Altteile auf eine Partikelgröße von 2-4 mm zerkleinert. Die Faser- und Pulverfraktionen werden dann als Verstärkungsmaterial und Füllstoff bei der Herstellung von Neuware zugesetzt.

1991 wurde die Firma Ecom, ein Gemeinschaftsunternehmen der Firmen Duroform, BWR, Menzolit und Mitras gegründet, deren Unternehmens-

**Bild 5.3: Verfahrensablauf des VCC-Verfahrens [5.16]**



zweck der Aufbau eines Sammelsystems sowie die Aufbereitung der erfaßten SMC-Teile in einer Anlage in Rastatt ist.

Unabhängig von der spezifischen Werkstoffrezeptur können alle aus SMC/BMG hergestellten Bauteile zu einem standardisierten Recyclat aufgearbeitet werden.

### 5.2.5 Zerlegung in chemische Grundstoffe

Durch die Zerlegung des Kunststoffes in chemische Grundprodukte können diese als Einsatzstoffe in der Neukunststoffproduktion oder als Substituenten für entsprechende Chemiegrundstoffe genutzt werden.

Mögliche und technisch realisierte Verfahren sind:

- Hydrierung,
- Pyrolyse,
- Solvolyse (Hydrolyse, Glykolyse, Alkoholyse).

#### 5.2.5.1 Hydrierung

Bei der Hydrierung werden die Kunststoffe unter hohem Druck (200–400 bar) und erhöhten Temperaturen (350–500 °C) in einer Wasserstoffatmosphäre in Gegenwart von Katalysatoren zu niedrig siedenden Kohlenwasserstoffen umgesetzt. Das auf diese Weise gewonnene synthetische Rohöl (Syncrude) kann in Raffinerien verwertet werden kann [5.15, 5.16]. Wichtigstes Hydrierverfahren ist das im folgenden beschriebene Veba Combi Cracking (VCC)-Verfahren.

Das VCC-Verfahren beruht auf der Hochdruckhydrierung in einem Sumpffasenreaktor. Diese Technik wurde bereits in den 30er Jahren zur Kohleverflüssigung entwickelt.

Im VCC-Verfahren können neben Rückstandsölen und anderen Raffinerierückstoffen auch Kunststoffe verarbeitet werden. Diese müssen vorab depolymerisiert werden. Derzeit wird ein Mengenverhältnis von 20 % unsortierten Kunststoffen und 80 % Rückständen aus Raffinerien angestrebt. Die gemahlene Kunststoffe werden den Rückständen zugemischt. PVC kann ohne Probleme verarbeitet werden.

Die vorbereitete Mischung aus Kunststoff und Raffinerierückständen wird mit Frisch-Wasserstoff und Kreislaufgas versetzt und auf eine Reaktionstemperatur von 440–480 °C (bei 150–250 bar) erhitzt. Die Spaltreaktion findet in einer Kaskade von meist drei Sumpffasenreaktoren (Blasensäulen) statt.

Die leichtsiedenden Reaktionsprodukte werden in einem Heißabscheider abgetrennt. Der als Sumpfprodukt anfallende Abschlamm wird einer Flashdestillation (Vakuumdestillation) zugeführt, deren Destillate dem Heißabscheiderkopfstrom beigemischt werden. Das Sumpfprodukt der Vakuumdestillation stellt das sogenannte Hydrierbitumen dar, welches die wesentlichen Chloranteile des Inputmaterials enthält.

Die abgetrennten Leichtersieder werden unter Prozeßdruck einer Rieselfasenhydrierung am Festbettkontakt zugeführt. In dieser sogenannten Gasphasenhydrierung werden konventionelle Hydrotreating-Katalysatoren eingesetzt, die eine Hydrierung ungesättigter Bestandteile, die Entfernung von Heteroverbindungen und ein mildes Hydrocracken der Sumpffasenprodukte bewirken.

Die hydrierten Gasphasenprodukte werden entspannt

und einer konventionellen Destillation unterworfen. Die Prozeßgase, bestehend aus Wasserstoff, Kohlenwasserstoffen, Ammoniak und Schwefelwasserstoff werden in einer Wäsche behandelt und nach Abtrennung des Überschußgases als Kreislaufgas zurückgeführt und mit der Maische vermischt.

Die flüssigen Produkte stellen das eigentliche synthetische Rohöl dar, das nach einer Stabilisierung die Anlage verläßt.

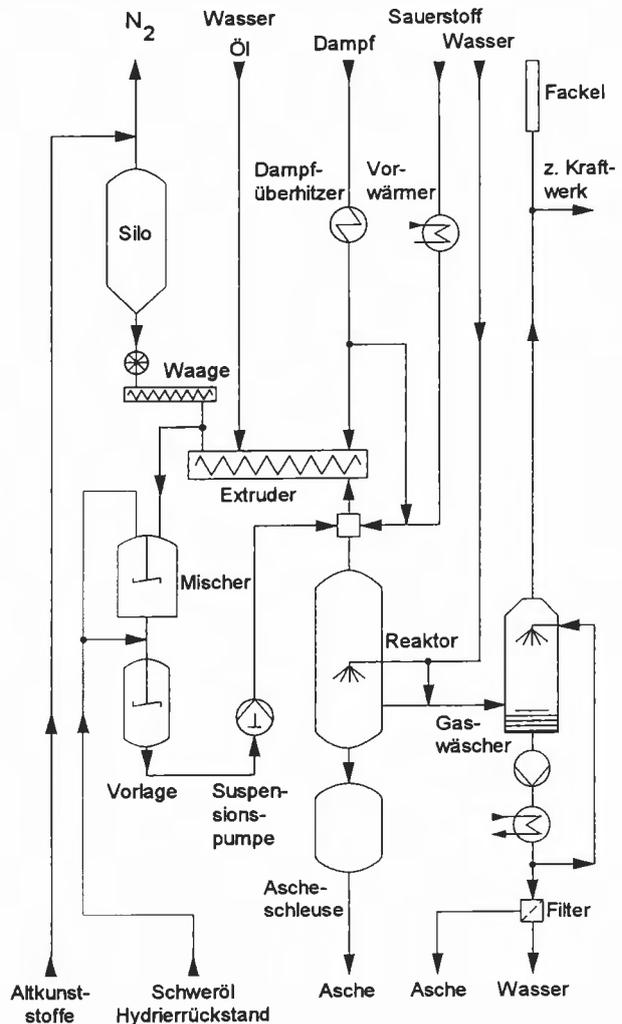
Die Qualitäten der Einsatzstoffe in das VCC-Verfahren unterliegen keinerlei Beschränkungen hinsichtlich Asphalt-, Schwefel-, Stickstoff- oder Metallgehalt. Im Kunststoff vorhandene Stickstoff- oder Sauerstoff-Komponenten werden in Ammoniak bzw. Wasser übergeführt.

In Bild 5.3 ist das VCC-Verfahren schematisch dargestellt.

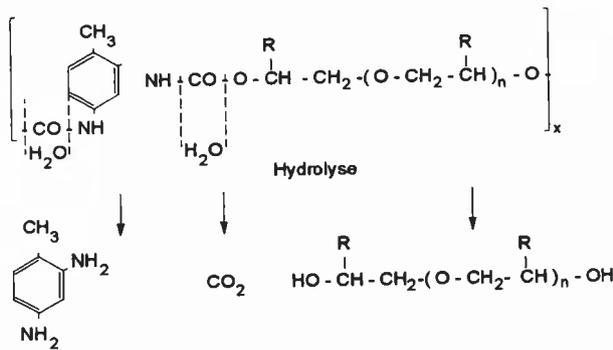
#### 5.2.5.2 Vergasung

Die Vergasung ist die Umsetzung fester brennbarer Stoffe, z.B. Steinkohle, Braunkohle, Torf und Kunststoffe in Gase und Gasgemische, vorzugsweise in H<sub>2</sub> und CO, mit Hilfe von Vergasungsmitteln. Verga-

**Bild 5.4: Vereinfachtes Fließbild der Flugstromvergasung [5.16]**



**Bild 5.5: Reaktionsgleichung der Hydrolyse von Polyurethan [5.17]**



sungsmittel sind im wesentlichen Wasserdampf und Sauerstoff.

Als Vergasungsprodukte können je nach Verfahrensführung

- Wasserstoff
- Synthesegas, meist CO und H<sub>2</sub> oder
- Brenngas

hergestellt werden. Die Vergasung erfolgt nach dem Flugstromprinzip. Der Verfahrensablauf ist im Bild 5.4 vereinfacht dargestellt.

Zur Wasserstoffherzeugung werden die zerkleinerten Kunststoffe einem Druckvergasungsreaktor mittels Extruder zugeführt.

Für PVC-haltige Kunststoffe wird im Extruder eine Produkttemperatur oberhalb 350 °C eingestellt, um den Chlorgehalt in der Schmelze durch HCl-Abspaltung zu reduzieren. Die bei der Dehydrochlorierung anfallenden Gase werden in der Salzsäureanlage in Salzsäure, Öl und Gas aufgetrennt.

Das Öl wird zusammen mit der Schmelze aus der Dehydrochlorierung in den Reaktor dosiert und dort mit den Vergasungsmitteln – Dampf und Sauerstoff – vergast. Die Vergasung der Kunststoffe findet bei einem Druck von 40 bar und einer Temperatur um 1.450 °C statt. Das erzeugte Rohsynthesegas besteht im wesentlichen aus CO, H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>. Es wird noch im Reaktor mit Wasser auf eine Temperatur unter 300 °C gequench. Im Scrubber erfolgt die Feinentstaubung und Sättigung des Synthesegases durch die Teilverdampfung des Washwassers. Dabei wird das im Gas enthaltene HCl und NH<sub>3</sub> ausgewaschen.

Das Rohsynthesegas verläßt den Scrubber wasserdampfgesättigt mit einer Temperatur um 220 °C und wird der CO-Konvertierung zugeführt. Hier erfolgt in zwei hintereinander geschalteten Reaktoren die katalytische Umsetzung des Kohlenmonoxids mit Wasserdampf zu Wasserstoff und Kohlendioxid. Die exotherme Reaktionswärme wird zur Dampferzeugung und Kesselspeisewasservorwärmung genutzt. Das anfallende Gaskondensat dient als Quenchwasser in der Vergasung.

Darauf wird das CO<sub>2</sub> in einer Wäsche selektiv aus dem Synthesegas entfernt, so daß reiner Wasserstoff zur Verfügung steht.

Soll Synthesegas als Endprodukt gewonnen werden, wird das Rohsynthesegas im Reaktor auf eine Tem-

peratur unter 900 °C gequench. Damit wird sichergestellt, daß keine flüssigen Aschepartikel in den nachfolgenden Abhitzekegel gelangen. Der überwiegende Teil der verfestigten Schlacke fällt in die Aschenschleuse und wird diskontinuierlich ausgeschleust.

In einem Abhitzekegel wird das Synthesegas auf etwa 220 °C abgekühlt. Ein Teil des dabei erzeugten HD-Dampfes wird für die Vergasung genutzt, der Dampfüberschuß in ein Dampfnetz abgegeben.

Im nachfolgenden Scrubber wird das Gas staubfrei gewaschen und auf etwa 45 °C gekühlt. Gleichzeitig werden HCl und NH<sub>3</sub> ausgewaschen. Als Produkt wird ein an CO und H<sub>2</sub> reiches Synthesegas gewonnen, daß z. B. zur Methanolsynthese verwendet werden kann.

Das Synthesegas kann aber auch zur energetischen Nutzung verbrannt werden (Brenngas).

### 5.2.5.3 Solvolyse (Hydrolyse, Glykolyse, Alkoholyse)

Ziel der Hydrolyse ist es, durch chemische Reaktionen aus Altkunststoffen deren monomeren Ausgangsstoffe zu erhalten, also die Spaltung aller durch Polykondensation oder Polyaddition hergestellten Verbindungen. Der hydrolytische Abbau der Kunststoffe kann mit Wasser oder mehrwertigen Alkoholen erfolgen. Die flüssigen oder gasförmigen Hydrolyse-Produkte können nach entsprechender Aufbereitung zur Herstellung neuer Kunststoffe eingesetzt werden.

Bild 5.5 zeigt die Reaktionsgleichung der Hydrolyse von Polyurethan [5.17].

Zur Aufarbeitung vermischter oder verunreinigter thermoplastischer Polyester, wie Polyamide, Polyurethane, Polycarbonate, läßt sich eine ihnen gemeinsame Besonderheit der chemischen Bindung zum Abbau in niedermolekulare Bindungen nutzen. Die Alkoholyse ist ein chemischer Prozeß, bei dem Emissionen chemischer Produkte zu erwarten sind. Neben Wasser und Kohlendioxid verlassen eine Reihe z.T. kondensierbarer organischer Substanzen den Reaktionskessel gasförmig.

Als Ausgangsstoffe eignen sich vor allem komplexere Kunststoffe wie Polyester, Polyamide, Polyurethane oder Polycarbonate. Am weitesten untersucht ist die Hydrolyse/Alkoholyse von Polyurethan.

Als Reaktionsmittel eignen sich mehrwertige Alkohole, z. B. höhersiedendes Glykol (Glykolyse), im einfachsten Fall auch Wasser (siehe Hydrolyse).

Untersuchungen zur Alkoholyse vermischter PUR/Po-

**Tabelle 5.3: Rohstoffgewinnung an Platin und Rhodium [5.20]**

Land	Platin (Pt) [Mg]	Rhodium (Rh) [Mg]
Südafrika	86,3	6,37
ehem. UDSSR	21,7	4,81
USA + Kanada	5,7	0,53
Andere	2,0	-----
Summe	115,7	11,71

**Tabelle 5.4: Platin und Rhodium-Verbrauch [5.12]**

Land	Platin (Pt)			Rhodium (Rh)		
	Gesamt	Auto - Kat		Gesamt	Auto - Kat	
	[Mg]	[Mg]	[%]	[Mg]	[Mg]	[%]
USA + Kanada	22,7	16,0	70,4	4,47		
Japan	57,4	11,3	19,7	3,73		
Europa	31,5	13,4	42,5	3,97		
Summe	113,6	40,7	35,8	12,12	10,22	84,3

lyester/Polyamid-Abfälle aus der Autositzproduktion zeigten, daß sich aus diesen Abfällen bei geeigneter Reaktionsführung ein homogenes Polyolgemisch herstellen läßt, das zur Hart-PUR-Herstellung verwendet werden kann [5.1].

Bei geeigneten wirtschaftlichen Randbedingungen zur Vermarktung der Produkte scheint die Solvolyse schneller zur technischen Einsatzreife gelangen zu können als Pyrolyse und Hydrierung. Auf die Wahl der Einsatzstoffe muß bei der Solvolyse allerdings größere Sorgfalt verwendet werden. Für vermischte Kunststoffabfälle ist sie in der Regel nicht geeignet.

Die Fachhochschule Aalen entwickelte eine Methode, Polyurethan (PUR) in Polyol zu spalten [5.19]. Wird dem Polyol wieder PUR zugesetzt, entsteht wertvoller Hart- bzw. Montageschaum, der sich im Automobilbereich sehr gut verwenden läßt. Die Herstellungskosten des wiedergewonnenen Polyols liegen nach vorsichtigen Schätzungen der FH Aalen rund 30 Prozent unter denen einer Neuproduktion.

### 5.3 Edelmetalle aus Altkatalysatoren

Nach dem anfänglich zögerlichen Anstieg der Zulassungszahlen für Katalysator-Fahrzeuge sind heute fast 100 % der Neuzulassungen von benzinbetriebenen Fahrzeugen mit einem Katalysator ausgerüstet. Im Jahr 1992 waren im alten Bundesgebiet ca. 19,7 Mio. Fahrzeuge als schadstoffreduziert zugelassen, darunter ca. 15 % Dieselfahrzeuge [5.1].

Geht man von ca. 20 Mio. Katalysatoren im gesamten Bundesgebiet aus, sind darin ca. 30 Mg Platin und 6 Mg Rhodium enthalten. Beide Edelmetalle stellen einen Marktwert von insgesamt 6 Mrd. DM dar.

#### 5.3.1 Aufbau eines Katalysators

Im Katalysator ist ein keramischer oder metallischer Trägerkörper (Monolith) enthalten, der eine aktive Gesamtfläche von ca. 18.000 m<sup>2</sup> aufweist. Die Strömungskanäle im Trägerkörper sind mit Edelmetallen beschichtet, die mittels chemischer Verfahren aufgedampft werden. Als Edelmetalle werden bei europäischen Herstellern überwiegend Platin-Rhodiumverbindungen, in den USA teilweise Platin-Palladiumverbindungen, aber auch Mischverbindungen aus allen drei Edelmetallen eingesetzt.

Form, Aussehen und Größe von Katalysatoren sind jeweils abhängig von den Anforderungen der Automobilindustrie. Die Form eines Katalysators muß zur Bodenstruktur des jeweiligen Fahrzeugtyps passen,

die Größe ist abhängig vom Hubraum des Fahrzeugs. Aus Gründen der Aerodynamik und in Verbindung mit der Produktionstechnik hat sich die flache Doppelschalenbauweise als Schweißkonstruktion in den verschiedensten Bauformen durchgesetzt.

Für die Hülle eines Katalysators wird Stahlblech (Schwarzblech, verzinkt), Chromstahl oder V2A verwendet.

Das Gewicht eines Katalysators schwankt je nach Größe und Bauform zwischen 3 und 7 kg, wobei 80 % auf die Hülle und 20% auf den Monolithen entfallen.

Das Monolithengewicht liegt zwischen 700 g und 1400 g. Der Anteil der Edelmetalle ist bei allen Katalysator-Typen nahezu gleich und beträgt für Platin etwa 1,4–1,6 g sowie für Rhodium 0,3 g

#### 5.3.2 Edelmetallvorkommen und Verbrauch

Mit Stand 1/1988 waren weltweit folgende Lagerstättenvorräte bekannt:

Platin:	30.000 Mg
Palladium:	26.000 Mg
Rhodium:	3.720 Mg.

Hauptförderländer für diese Edelmetalle sind Südafrika, die GUS-Staaten sowie die USA und Kanada, die jährlich ca. 113 Mg Platin und 11 Mg Rhodium gewinnen (Tabelle 5.3). Etwa 43 % des Gesamtverbrauchs an Platin und ca. 75 % an Rhodium werden zur Herstellung von Autokatalysatoren verwendet [5.20]. In Tabelle 5.4 ist der länderspezifische Verbrauch dargestellt.

Während sich in Nordamerika und Japan eine Marktsättigung des Edelmetallverbrauchs durch Autokatalysatoren abzeichnet, sind in Europa noch erhebliche Steigerungsraten zu erwarten.

Für die EU gelten ab Januar 1993 strengere gesetzliche Auflagen für Autoabgasemissionen bei Pkw-Neuzulassungen. Diese sind praktisch nur mit Katalysatoren einzuhalten. Während 1991 rund 10 Mio Katalysatoren eingebaut wurden, gehen Prognosen davon aus, daß Mitte der 90er Jahre europaweit ca. 20 Mio Stk. pro Jahr benötigt werden.

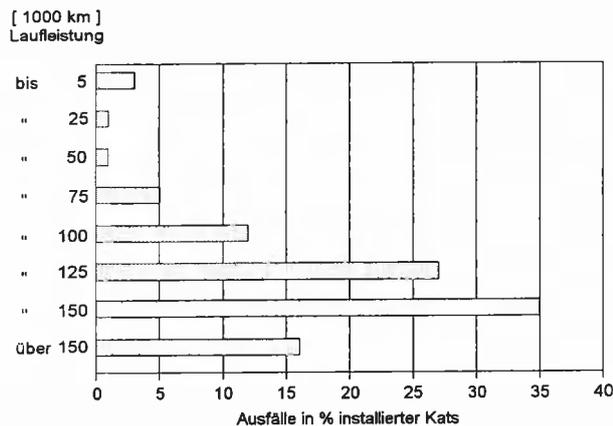
Dies entspricht einem zusätzlichen jährlichen Bedarf von 30 Mg Platin und 6 Mg Rhodium in Europa. Im Hinblick auf die begrenzten Vorkommen dieser Metalle sowie deren Materialwert ist der Zwang zur Rückgewinnung offensichtlich.

#### 5.3.3 Verfügbarkeit von Altkatalysatoren

Ein wesentlicher Faktor für eine Edelmetallrückgewinnung ist die Lebensdauer und damit die am Markt vorhandene Verfügbarkeit von Altkatalysatoren. Die Lebensdauer von Katalysatoren ist durch folgende Ursachen begrenzt:

1. Herstellungsbedingte Frühausfälle, die meistens innerhalb der ersten 5.000 km durch Materialeinflüsse auftreten.
2. Der verschleißbedingte Ausfall, der im Durch-

**Bild 5.6: Häufigkeitsverteilung der Ausfälle von Katalysatoren über der Laufleistung [5.20]**



schnitt erst nach einer Laufleistung von 100.000 km auftritt. Ursachen sind chemische und thermische Alterungsprozesse, aber auch Kraftstoffadditive, welche die aktive Oberfläche des Katalysators zudecken. Diese Ausfälle sollen vor allem durch die geplante ASU II aufgedeckt werden.

3. Ausfälle durch unsachgemäße Betriebsbedingungen, wie beispielsweise durch Unfälle, Fehlbenutzung oder Motorfehlfunktionen.

Die Auftrittshäufigkeit dieser Ausfälle ist in Bild 5.6 dargestellt [5.20]:

Über das tatsächliche Aufkommen defekter Katalysatoren liegen bislang keine konkreten Zahlen vor. Aus Angaben von Kfz-Herstellern und Kfz-Werkstätten sowie den Prognosen der führenden Altkatalysator-Recycling-Verbände, EAR (European Autokat Recycling) und dem Degussa-Kat-Verbund läßt sich die zukünftige Entwicklung darstellen (siehe Bild 5.7) [5.21].

### 5.3.4 Anfallstellen für Altkatalysatoren

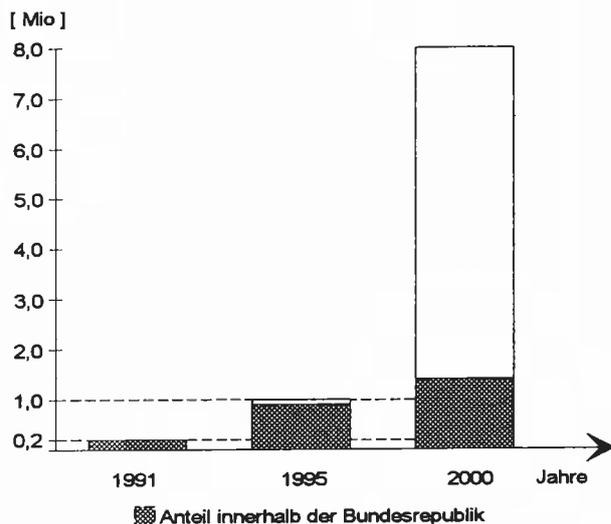
Zur Erfassung der Altkatalysatoren bedarf es eines gutfunktionierenden Sammelsystems. Erfahrungen in den USA zeigen, daß das Fehlen eines flächendeckenden Sammelsystems nur zu einer 50 %-igen Wiederverwertung von Altkatalysatoren führt. Die Altkat-Recycling-Verbände gehen von Konzepten aus, mit denen eine europaweite Recyclingquote von 75 % erreicht werden soll.

Die Anfallstellen für Autokatalysatoren sind:

- Produktionsstätten von Katalysatoren (Beschichter und Verpacker), Produktionsabfälle,
- Automobilhersteller und -importeure, bei denen Katalysatoren aus Gewährleistungsfällen, Testfahrzeugen, zentralem Rücklauf von Austauschkatalysatoren anfallen,
- ca. 45.000 Kfz-Werkstätten in der Bundesrepublik Deutschland,
- Autoverwertungsbetriebe, Schrotthändler und Entsorgungsunternehmen.

Die Rolle und Gewichtung der verschiedenen Anlauf- und Sammelstellen wird sich mit zunehmender Markt-

**Bild 5.7: Prognose über europaweites Aufkommen von Altkatalysatoren [5.21]**



durchdringung und Alter der Katalysatoren-Fahrzeuge verändern. Seit 1990 liegt der überwiegende Anteil anfallender Alt-Katalysatoren bei den Kfz-Werkstätten, ab Mitte der 90er Jahre wird sich der größere Anteil zu den Autoverwertungsbetrieben hin verlagern. Dieser veränderten Aufkommengewichtung müssen die Bring- und Holsysteme Rechnung tragen.

Die zukünftig bei Automobilherstellern sowie bei Beschichtungs- und Verpackungsbetrieben anfallenden Katalysatoranteile werden bereits heute gesammelt und direkt an die Scheideanstalten zur Rückgewinnung der Edelmetalle geliefert. Auch Autoverwerter und Schrotthändler liefern direkt an die Scheideanstalten, sofern sie in der Lage sind, die Katalysatoren zu entmanteln. Dies ist grundlegende Voraussetzung zur Weiterverarbeitung in einer Scheideanstalt [5.22].

Zur Entmantelung setzen sich sogenannte „Kat-Schere“ durch, die eine Durchsatzleistung von ca. 120 Katalysatoren pro Stunde aufweisen. Da die Anschaffungskosten einer Kat-Schere bei ca. 20.000 DM liegen, kommt sie jedoch nur für Betriebe mit hohem Katalysatorumschlag in Betracht.

Die Rückführung der Katalysatoren an die Kat-Recycling-Verbände erfolgt bei Kleinkunden (Werkstätten) über den Post- und Paketdienst oder als Bahngutstück. Größere Stückzahlen werden durch Speditionen abgeholt. Die Katalysatoren werden an einer zentralen Stelle gesammelt und entmantelt.

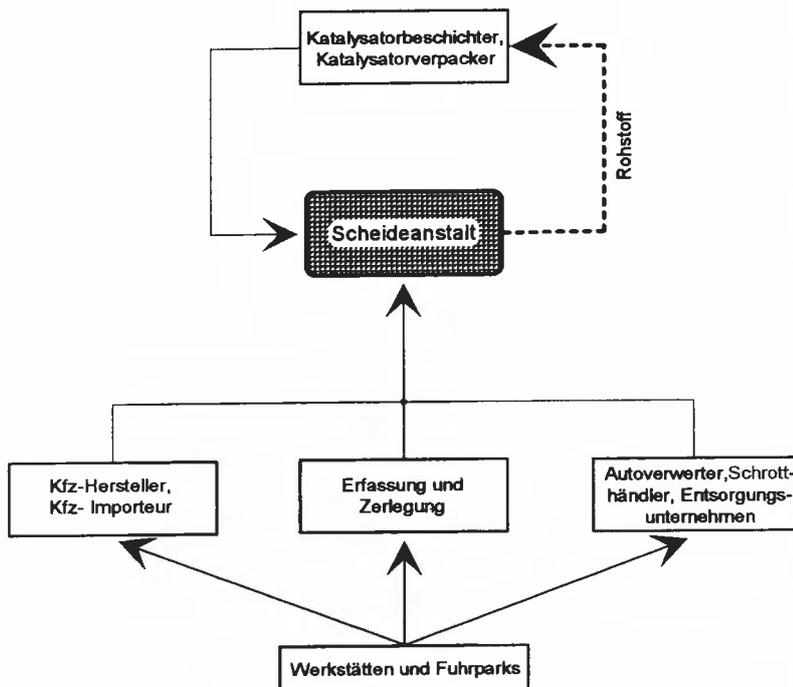
Der Stahlschrott, etwa 80%, wird in der Stahlschmelze verwertet. Die etwa 1 kg schweren Keramik-Monolithen werden zu großen Chargen zusammengefaßt und zur Wiederaufbereitung in die jeweils angeschlossenen Scheideanstalten geliefert.

Bild 5.8 zeigt den prinzipiellen Verlauf der Sammellogistik der einzelnen Kat-Recycling-Verbände.

### 5.3.5 Edelmetall Rückgewinnungsverfahren

Die Keramikmonolithen werden durch Mahlen, Sieben und Mischen homogenisiert. Es entsteht ein Keramikpulver mit gleichmäßiger Edelmetallverteilung

**Bild 5.8: Prinzipielle Sammellogistik für Alt-Katalysatoren**



und definierter Korngröße (etwa 1 mm). Im allgemeinen schließt sich eine Probenentnahme an. Im analytischen Labor erfolgt dann die Wertbestimmung des Materials, da die nachfolgenden Scheideprozesse keine physische Zuordnung der Edelmetalle zum eingesetzten Material mehr zulassen.

Für die Wiedergewinnung der Edelmetalle werden hauptsächlich naßchemische und pyrometallurgische Verfahren eingesetzt. Beim naßchemischen Verfahren besteht prinzipiell die Möglichkeit, das Edelmetall vom Trägermaterial (Keramik oder Metall) abzulösen, oder das Trägermaterial selbst wird komplett aufgelöst. Die Edelmetalle werden durch Fällung aus dem Löserückstand gewonnen. Für dieses Verfahren spricht der niedrige Energieaufwand. Die aufwendige Abwasserentsorgung sowie die geringe Recyclingquote für Platin führen aber zum verstärkten Einsatz von pyrometallurgischen Aufbereitungsverfahren.

Pyrometallurgisch kann auf zwei verschiedene Arten vorgegangen werden, um die enthaltenen Edelmetalle wiederzugewinnen. Beim indirekten Verfahren setzt man das edelmetallhaltige Trägermaterial einer NE-Metallschmelze zu (z. B. Kupfer) und gießt daraus Anoden, die dann zur Endraffination in einer Elektrolyse eingesetzt werden. Dabei fallen die Edelmetalle als Schlamm an und können nun naßchemisch geschieden werden.

Beim direkten pyrometallurgischen Verfahren werden die Katalysatoren zusammen mit einem Sammlermetall entweder in einem Schachtofen oder in einem Hochtemperatur-Elektroofen (Degussa AG) niedergeschmolzen. Das Sammlermetall bindet die Edelmetalle; das keramische Trägermaterial wird verschlackt. Durch Abkühlen trennt sich das Sammlermetall aufgrund des höheren spezifischen Gewichts von der Keramikschlacke und sammelt sich am Boden des Ofengefäßes. Die überstehende Schlacke wird abge-

stochen und gelangt als Baustoff zur Wiederverwertung.

In beiden Fällen liefern dann naßchemische Extraktionsschritte schließlich die einzelnen Edelmetalle in hochreiner Form (Platin bei 98 %, Rhodium 80 %).

#### 5.4 Autoglas

Glasrecycling hat in der Bundesrepublik Deutschland eine lange Tradition. Seit Beginn der 70er Jahre wurde bis heute ein flächendeckendes Rücknahme- und Verwertungssystem für gebrauchte Glasverpackungen aufgebaut.

Die Behälterglasindustrie hat 1990 ca. 1,8 Mio. Mg Altglas wiederverwertet, dies entspricht rund 54 % des im Inland abgesetzten Behälterglases.

Weit bescheidener dagegen sind die Ansätze bei der Wiederverwertung von Flachglas aus Altfahrzeugen, da deren Qualitätsanforderungen weit höher liegen als bei Gläsern für andere Verwendungszwecke. Der größte Teil der bei der Altfahrzeugverwertung anfallenden Glasmenge (ca.

60.000 Mg/a) wurde bislang deponiert. Ein Teil davon geht in die Behälterglas-, Mineralfaser- und Schaumglasindustrie zur Herstellung von z. B. Hohlglas, Isolierglas, Faser- oder Gußglas.

Der Glasanteil bei Personenkraftwagen liegt bei ca. 4 %, also etwa 40 kg Flachglas. Diesen Rohstoff wieder zu recyceln, haben sich 1992 die „Interregla GmbH“ und die „Rhenus AG“ verpflichtet [5.25].

Ein Recycling, in dem aus einer Autoglasscheibe wieder eine Autoglasscheibe entsteht, ist heute nur in Ausnahmefällen möglich. Einzig die nicht durch glasfremde Werkstoffe verschmutzten Einscheibensicherheitsgläser (ESG) bekannter Zusammensetzung und nach Herstellern getrennt können wieder in die Flachglasproduktion einfließen.

Einerseits durch die produktionsbedingten Vorgaben bei der Herstellung von Flachglas (Floatglas) und andererseits durch die hohen Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie stoßen die angewandten Glasherstellungs- und Veredelungsprozesse an technische Grenzen.

Die Zumischung von Scherben führt u. U. zu den folgenden Schwierigkeiten beim Schmelzprozeß [5.26]:

- Durchmischungsprobleme
- Abnahme der Festigkeit des Glases durch mehrfaches Wiedereinschmelzen.
- Scherben unterschiedlicher Zusammensetzung, d. h. von unterschiedlichen Glasherstellern, führen zu einer heterogenen Glasschmelze.

Der Anteil der Scherben bei der Flachglasherstellung bleibt deshalb auf eine, den Qualitätsanforderungen an die herzustellenden Gläser genügende Menge beschränkt. Diese Mengen sind von den Rezepturen der einzelnen Hersteller abhängig.

Ausschlußkriterien für die Verwendung als Flachglas können sein [5.27]:

- Einschlüsse von Fremdkörpern, z. B. Teilchen von feuerfestem Ofenmaterial, Fremdstoffe u. ä.,
- Blasen im Glas,
- Schlieren oder Streifen,
- Abweichung von der vorgegebenen Glasstärke,
- Toleranzen in der Licht- und Energietransmission,
- Schwankungen in der Kratzfestigkeit der Glasoberfläche,
- Dioptrie (Brechkraft des Glases).

Die genannten Kriterien unterliegen engsten Toleranzen und sind in Qualitätsrichtlinien und Prüfvorschriften festgelegt.

Dem Einsatz von Scherben und speziell von Fremdscherben sind aus den genannten Gründen enge Grenzen gesetzt, da diese den gleichen Qualitätsstandard aufweisen müssen wie alle anderen Rohstoffe bzw. das Fertigprodukt. Das führt dazu, daß beim Floatglaspozeß bis heute fast ausschließlich nur Eigenscherben zugesetzt werden können.

Glasscherben aus Kraftfahrzeugen sind größtenteils mit folgenden Werkstoffen versetzt:

- Folien auf und zwischen den Gläsern, z. B. PVB-Folie der Verbundsicherheitsglasscheibe (VSG),
- Bedruckungen aus Keramik
- Beschichtungen,
- Stromleiter auf oder in der Scheibe zur Beheizung,
- Antennenleiter, Scheibeneinfassungen, Spiegelsockel, etc.
- Klebeverbund von Isoliergläsern.

Ein weiteres Problem stellt die Tatsache dar, daß die verschiedenen Glashersteller unterschiedliche Glaszusammensetzungen haben und je nach Pkw-Modell auch verschiedene Einfärbungen verwendet werden.

Hieraus ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit, zwischen Altauto-Verwertern und Flachglasherstellern sowie der Automobilindustrie, gemeinsam Sortierkriterien zu entwickeln. In erster Absprache zwischen der Projektgruppe Autoverwertung der deutschen Automobilindustrie (PRAVDA) und den Verwerterbetrieben wurden folgende Sortierklassen festgelegt.

1. ESG Weiß ohne Aufdruck (ESG: Einscheibensicherheitsglas)
2. VSG Weiß ohne Aufdruck (VSG: Verbundscheibensicherheitsglas)
3. ESG Grün ohne Aufdruck
4. VSG Grün ohne Aufdruck
5. Alle anderen Gläser

Die Fa. Interregla beabsichtigt unter Einbindung anderer Unternehmen ein flächendeckendes Sammelsystem für Flachglas einzuführen und geeignete Aufbereitungsanlagen zu errichten.

## 5.5 Betriebsflüssigkeiten

### 5.5.1 Altöle

Nach der Altölverordnung werden Altölsorten in Abhängigkeit von der nachfolgenden Behandlungs- oder Beseitigungsmöglichkeit unterschieden.

- Altöle bekannter Herkunft, die durch Zweitaffina-

tion aufgearbeitet werden können, soweit diese nicht mehr als 20 ppm PCB und/oder 0,5 % Gesamt-Chlor in der organischen Phase enthalten (Kategorie {I}).

- Altöle, die in nach den Vorschriften des BImSchG zugelassenen Anlagen (Schadstoffgehalt vom Genehmigungswert abhängig) verbrannt und einer thermischen Nutzung zugeführt werden können (Kategorie {II}).
- Altöle, die wegen der Überschreitung des Gehaltes an PCB oder Chlor nicht in einer nach den Vorschriften des BImSchG zugelassenen Anlage verbrannt werden können, müssen als Sonderabfall entsorgt werden (Kategorie {III}).

Die Altautoverwerter als Altölbesitzer sind nach der AltölV nunmehr selbst für die ordnungsgemäße Verwertung oder Entsorgung verantwortlich. Der Abfallerzeuger hat nach dem Vermischungsverbot dafür Sorge zu tragen, daß die getrennt gehaltenen Altöle, insbesondere die aufarbeitbaren und energetisch verwertbaren Altöle, nicht mit anderen branchentypischen Stoffen vermischt werden.

Die beim Arbeitsgang des Ölwechsels anfallenden Altöle gelten als Altöl bekannter Herkunft und erfüllen die Voraussetzungen zur Wiederaufbereitung als Zweitaffinat. Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen werden in der Regel die bestehenden Grenzwerte nicht überschritten. Die Bereitstellung der gesammelten Altöle hat nach den Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes und des Gewerberechtes zu erfolgen. Wenn sichergestellt ist, daß nur Altöle bekannter Herkunft mit einem Flammpunkt über 55 °C gelagert, abgefüllt oder befördert werden, gelten die Vorschriften für Anlagen über brennbare Flüssigkeiten der Gefahrenklasse A III gemäß der VbF (Verordnung über brennbare Flüssigkeiten) [5.28] und der Ausführungsverordnungen nach den TRbF 003 (Technische Regeln brennbare Flüssigkeiten) [5.29].

Altöl bekannter Herkunft wird durch die Mineralölgesellschaften oder die beauftragten Entsorgungsunternehmen umgeschlagen.

### 5.5.2 Kraftstoffe

Theoretisch könnten die aus den Altfahrzeugen gewonnenen Kraftstoffe für den eigenen Fuhrpark genutzt werden. Die Erfahrungen von Verwerterbetrieben sprechen jedoch dagegen. Die erhaltenen Kraftstoffe sind häufig mit anderen Flüssigkeiten vermischt (Wasser, Lösungsmittel u. ä.) und damit verunreinigt.

Verunreinigte Vergaserkraftstoffe werden durch den erweiterten Altölbegriff erfaßt und sind nach Maßgabe der Altölverordnung und des Abfallgesetzes handzuhaben. Nach § 5a Abs. 1 Satz 1 AbfG finden auf die Altölentsorgung und damit auch auf die verunreinigten Vergaserkraftstoffe alle Vorschriften des Abfallgesetzes Anwendung, es sei denn, es erfolgt eine stoffliche Verwertung der Kraftstoffe in einer nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zugelassenen Anlage (§ 5a Abs. 2 Satz 1 AbfG). In diesem Falle sind für die Zuführung zur Verwertung nur die abfallrechtlichen Überwachungsvorschriften (§§ 11, 11a bis 11f, 12 und 14 Abs. 1 AbfG) zu gewährleisten.

Verunreinigte Dieselmotorkraftstoffe (Abfallschlüsselnummer 54108) werden durch den erweiterten Altölbegriff

erfaßt und sind nach Maßgabe der Altölverordnung und des AbfG zu handhaben. Für Dieselmotorkraftstoffe gelten dieselben rechtlichen Bedingungen wie für Vergaserkraftstoffe.

### 5.5.3 Kühlerfrostschutzmittel

Bisher erfolgte die Entsorgung von Frostschutzmitteln aus Kraftfahrzeugen vornehmlich über die Sonderabfallverbrennung. Seit Mitte 1993 gibt es in der Bundesrepublik Deutschland eine erste Alternative zur Verwertung.

Eine großtechnische Verwertungsanlage zur Aufarbeitung und Rückgewinnung des Glykols aus Kühlerflüssigkeiten ist in der ersten Ausbaustufe im Juni 1993 in Baden-Württemberg mit einer Kapazität von 14.000 Mg pro Jahr in Betrieb gegangen.

Die Rückgewinnung des Glykolanteils erfolgt unter Verwendung eines mehrstufigen Destillationsverfahrens (Dünnschichtverdampfer). Durch den Einsatz der Dünnschichtverdampfer wird Altkühlerflüssigkeit in seine Hauptbestandteile zerlegt. Der Dünnschichtverdampfer ermöglicht einen schonenden Aufbereitungsprozeß mit kurzer Einflußzeit (Trennung ist nach ca. 30 Sekunden abgeschlossen) auf die Schmutzwasser- und das angestrebte Recyclat. Konventionelle Destillationsanlagen benötigen dazu längere Einwirkzeiten und beeinflussen die Qualität des Destillates negativ.

Im ersten Verfahrensschritt wird die Kühlerflüssigkeit durch Destillation in die Wasserphase von 65 Gew.-% (mit einem Restglykolanteil von 2 Gew.-%) und die Glykolphase gespalten. Im zweiten Behandlungsschritt werden aus der Glykolphase Reststoffe wie Schwermetalle, Öl, Korrosionsreste und Zersetzungsprodukte destillativ abgetrennt. Das gewonnene Recyclat wird über einen Abnahmevertrag der Fa. Hoechst zugeführt, die das Recyclingglykol mit einer Reinheit von 99,5 Prozent wieder im Produktionsprozeß zur Herstellung von Kühlerfrostschutzmittel einsetzt.

Diese Anlage kann ca. 15 % der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden Menge von ca. 60.000 Mg/a aufbereiten.

### 5.5.4 Bremsflüssigkeit

Gebrauchte Bremsflüssigkeiten werden z. Z. noch überwiegend über die Sonderabfallverbrennung entsorgt.

Als Alternative dazu steht seit ca. zwei Jahren eine Aufbereitungsanlage zur stofflichen Verwertung zur Verfügung. Diese Aufbereitungsanlage wird in Schleswig-Holstein betrieben.

Die Voraussetzung für die Verwertung der Bremsflüssigkeit ist deren sortenreine Sammlung und ein Siedepunkt 135 °C. Werden diese Vorbedingungen nicht erfüllt, bleibt nach wie vor nur die Verbrennung als Alternative. Der gebrauchten Bremsflüssigkeit wird in der Umesterung der Boranteil entzogen. Nachfolgend wird der freigesetzte Glykolether destilliert und reine Fraktionen gewonnen. Die Verunreinigungen in einer Größenordnung von 5 % bleiben im Rückstand und werden entsorgt. Im letzten Verfahrensschritt, der Veresterung wird aus den gewonnenen Glykolethern und Borsäure ein neuer Grundstoff für die Produktion

von Bremsflüssigkeit erzeugt. Das Ergebnis der Aufbereitung sind 95 % hochwertiger Rohstoff und 5 % Abfall.

### 5.5.5 Altbatteriesäure

Die gefüllten Autobatterien werden über den regionalen Schrotthandel erfaßt und über diese Zwischenhändler an Großhändler weitergeleitet. Akku-Säure ist als besonders umweltrelevanter Stoff, Abfallschlüsselnummer 52101, eine nachweispflichtige Abfallart, die durch chemisch-physikalische Behandlung entsorgt werden muß. Dazu wird die Säure mit Lauge versetzt und so neutralisiert. Dieses Verfahren wird in zugelassenen chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen durchgeführt. Die Sammlung der Akku-Säure hat in säurefesten Behältern zu erfolgen. Die Einstufung der Akku-Säure erfolgt nach Klasse 8 Ziff. 1 b der Gefahrgutverordnung Straße (GGVS). Da die Altbatterien im Rahmen des Batterierecyclings inklusive Säure durch die Verwerter angenommen werden, fällt im Demontagebetrieb kaum Säure an. Ausnahmen bilden Leckagen aus defekten Batterien.

### 5.5.6 Kältemittel aus Klimaanlageanlagen

Kältemittel aus Klimaanlageanlagen werden nach der Erfassung in Druckbehältern den Primärherstellern zur Aufbereitung angedient. Die Abnahme erfaßter Kältemittel des Typs R 12 (FCKW-haltig) wird bei Produktionseinstellung ab 1995 auf Grund des FCKW-Verbotes ein Entsorgungsproblem darstellen. Eine Aufbereitung zur Wiederverwendung wird dann nicht mehr möglich sein, so daß FCKW-haltige Kältemittel in speziellen Verbrennungsanlagen zerstört werden müssen.

Künftig wird in Fahrzeugklimaanlagen das Ersatzkältemittel R 134 a ( $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ ) zum Einsatz kommen. Dieser Fluorkohlenwasserstoff (FKW) schädigt die Ozonschicht nicht und weist ein wesentlich geringeres Treibhauspotential auf. Bisher mit R 12 betriebene Klimaanlageanlagen können nicht bzw. nur mit großem Aufwand auf R 134 a umgestellt werden, da bei seiner Verwendung das Schmiermittel (Kälteöl) geändert werden muß und werkstoffliche Änderungen an den Bauteilen der Klimaanlage notwendig sind.

## 5.6 Altreifen

### 5.6.1 Zusammensetzung und -aufkommen

Hauptbestandteil eines Reifens ist Gummi, der durch Vulkanisation aus Kautschuk, Schwefel und Füllstoffen hergestellt wird. Die Vulkanisation ist ein irreversibler Prozeß, d. h. das Material kann nicht wieder in seine Ausgangsbestandteile zerlegt werden.

Pkw-Reifen, die aus über 20 verschiedenen Einzelteilen (Lauffläche, Gürtel, Karkasse, Kern etc.) zusammengesetzt sind, müssen als komplexer Verbundkörper angesehen werden. Jedes Einzelteil besteht aus einer Reihe von verschiedenen Chemikalien, wie z.B. Weichmacher, Vernetzer, Alterungsschutzmittel usw. Ein späteres Recycling dieses inhomogenen Produktes ist deshalb nur mit großem Aufwand zu bewältigen.

Das Gewicht einer kompletten Fahrzeugbereifung (incl. Reserverad) beträgt ca. 40 kg, das entspricht

**Tabelle 5.5: Verwertungswege und -mengen von Altgummi [5.31]**

Herkunft	Verwertungswege	Menge
Altreifen	Runderneuerung	110.000 Mg
	Granulatverarbeitung	50.000 Mg
	Zementindustrie	200.000 Mg
	Landwirtschaft	
	Häfen Spielplätze	10.000 Mg
	Zwischensumme	370.000 Mg
	Deponie, Sonstiges	230.000 Mg
	Gesamt	600.000 Mg
Technische Produkte	Deponie	400.000 Mg
Gesamt		1.000.000 Mg

bei einem 1.000 kg schweren Auto einem prozentualen Gewichtsanteil von 4 %.

Jährlich fallen in der Bundesrepublik Deutschland ca. 600.000 Mg Altreifen an. Es wird ein weiterer stetiger Anstieg der zu entsorgenden Altreifenmenge erwartet, so daß um die Jahrtausendwende mit ca. 800.000 Mg/a Altreifen zu rechnen sein wird [5.30]. Zuzüglich der technischen Produkte beträgt das gesamte Altgummi-Aufkommen derzeit rund 1 Mio Mg/Jahr [5.31]. Die Verwertungswege und -mengen von Altgummi sind in Tabelle 5.5 dargestellt.

Für einen großen Teil dieses Altreifenberges gibt es keine geschlossenen Materialkreisläufe, so daß die Kautschukwirtschaft sich veranlaßt sah, 1991 eine Gesellschaft zu gründen, die sich ausschließlich mit der Problematik der Altgummi-Verwertung beschäftigt. Die Gesellschaft für Altgummi-Verwertungssysteme mbH (GAVS) erstellte für den Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V., den Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseurhandwerk sowie den Verband der Technischen Händler e. V. Konzepte zur Altgummiverwertung, prüft neue Verwertungsverfahren und stellt die Logistik sicher.

## 5.6.2. Verwertungsverfahren

### 5.6.2.1. Runderneuerung

Durch die Reifenrunderneuerung werden ca. 110.000 Mg Altreifen pro Jahr sinnvoll wiederverwertet. Hierbei sinkt der Rohölverbrauch auf 1/7 der bei der Neureifenproduktion eingesetzten Menge. Allerdings leidet der 'grüne Reifen' noch unter einer mangelnden Akzeptanz beim Verbraucher, obwohl die Qualität des Runderneuerten absolut vergleichbar mit Neureifen ist. Dies bestätigen Prüfungen durch den TÜV [5.32].

Bei der Runderneuerung wird die verschlissene Lauffläche durch eine neue ersetzt. Allerdings können nicht alle abgefahrenen Reifen zur Wiederverwendung eingesetzt werden. Ein Großteil der bei den Runderneuerungsfirmen eingehenden Reifen fällt durch die aufwendige Eingangsprüfung. Denn der entscheidende Unterbau des Reifens, die Karkasse, darf keinerlei Beschädigung aufweisen. Ein Pkw-Reifen kann einmal, ein Lkw-Reifen mehrmals runder-

neuert werden. Bei der Heißeerneuerung wird dem angerauhten Reifen eine neue Lauffläche samt Bindeplatte aufgelegt. Im weiteren Verlauf vulkanisiert und profiliert man den Pneu in einer speziellen Heizform bei ca. 160 °C und unter hohem Druck.

### 5.6.2.2 Stoffliche Verwertung als Regenerat

Der Verbrauch von Regenerat in der Neureifenproduktion lag vor 30 Jahren noch bei ca. 20 % des Neukautschukverbrauchs, nahm jedoch mit zunehmender Qualitätsanforderung immer weiter ab. Das Gummimehl läßt sich nur unzureichend in die neue Gummimatrix einbinden, so daß eine Schwächung des Vulkanisats eintritt. Im Jahre 1990 wurde ca. 1 % des Neu-Kautschuks durch Regenerat ersetzt. Ein höherer Regenerateinsatz könnte durch die Weiterentwicklung von oberflächenmodifiziertem Gummimehl erreicht werden. Hierbei wird die Oberfläche des Gummimehls mit einem ungesättigten Polymer beschichtet. Dadurch kann eine feste Anbindung dieses Recyclingmaterials erreicht werden [5.32]. Doch auch hier ist bei gesteigertem Einsatz von Mahlgut eine gewisse Qualitätsverminderung zu verzeichnen.

Deshalb werden aus granuliertem oder gemahlenem Altgummi andere Produkte hergestellt, z. B. Elemente zur Geräuschkämpfung, elastische Sportstätten- und Spielplatzbeläge, Baumatten u. ä. Zur Zerkleinerung des Gummis werden das Kaltmahl- oder das Warmmahlverfahren angewandt.

Das Kaltmahlverfahren, das sich die Material-Verpöndung des Gummis bei Zugabe von Stickstoff im Temperaturbereich von ca. -100 °C zu Nutze macht, hat den hohen Kostenaufwand, bedingt durch den Stickstoffeinsatz (ca. 0,5 bis 1 kg N/kg Granulat), zum Nachteil.

Anlagen zur Kaltmahlung von vorzerkleinerten Reifen mit einem Durchsatz von 15.000 Mg Altreifen pro Jahr sind bereits in Betrieb. Nach Zerkleinerung auf 100 x 400 mm und Tieffrieren in einem zweistufigen Gegenstromkühlsystem werden die Reifenstücke durch Schlagbeanspruchung auf grobe bis mehlfine Teilchengröße zerkleinert. Nach Magnetvorabscheidung und Textilflusensichtung in einem Drehrohr können 6 Gummigranulatfraktionen abgesiebt und fraktionsweise gesichtet werden.

Eine französische Verfahrensvariante verarbeitet Altreifen zu Gummigranulat im Warmmahlverfahren. Die Anlage läuft ohne flüssigen Stickstoff und kann mit einem Durchsatz von 2 Mg pro Stunde bzw. 12.000 Mg pro Jahr wirtschaftlich erfolgreich betrieben werden.

Die Altreifen werden in vier Verfahrensschritten zu Gummigranulat umgewandelt:

- In zwei Hochleistungsgranulatoren werden die Reifen auf eine Größe von max. 14 mm selektiv zerkleinert. Ein nachfolgendes Sieb scheidet das Überkorn aus.
- In der zweiten Stufe entfernt ein Magnetscheider die eisenhaltigen Bestandteile.
- Granulatoren erarbeiten eine Korngröße der zu trennenden Teile von 1 bis 6 mm.
- Im letzten Verfahrensschritt wird per Windsichtung das Textilgewebe vom Gummi getrennt, so daß ein von textil- und eisenhaltigen Bestandteilen ge-

**Tabelle 5.6: Altreifenverwertung bis zum Jahr 2000 [5.23]**

	Verwertung technischer Produkte				
	1990	1993	1995	1997	2000
	- in 1000 Tonnen -				
Anfall	422	445	465	480	500
Granulat/Mehl	10	15	25	40	50
Depolymerisation	-	-	50	200	350
Kraftwerke	-	-	-	-	50
Zementwerke	20	30	50	50	50
Verwertung	30	45	125	290	500
Deponie bzw. sonst. Verbleib	392	400	340	190	-

trenntes Gummigranulat als Endprodukt zur Verfügung steht.

Derzeit wird ein neues Verfahren zum Kaltmahlen von Altreifen entwickelt. Nach Angaben des Anbieters entfällt dabei der Einsatz von flüssigem Stickstoff zur Vorzerkleinerung, so daß die Betriebskosten deutlich gesenkt werden können [5.33].

#### 5.6.2.3 Thermische Verwertung

Der Heizwert von Gummi liegt bei 25.000–30.000 kJ/kg, also im Bereich von Steinkohle. Daher wird die thermische Verwertung von Altreifen der Deponierung vorgezogen. Die thermische Verwertung von Altreifen in Hausmüllverbrennungsanlagen wird aufgrund des hohen und damit durchsatzbegrenzenden Heizwertes vermieden.

Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der Reifen sind bekannt, so daß als Brennstoff für Heizkraftwerke interessant sind. Die Rauchgasreinigung läßt sich präzise darauf abgestimmen. Mehrere Kraftwerke dieser Art sind in der Bundesrepublik in Planung. Sie könnten bis zu 200.000 Mg/a Altreifen aufnehmen [5.31].

In der Zementindustrie werden jährlich ca. 200.000 Mg Altreifen als Sekundärbrennstoff eingesetzt. Damit ist die Zementindustrie derzeit der größte Altreifenabnehmer.

Zement wird bei ca. 1450 °C verklindert, und um 1 kg Klinker herzustellen, müssen ca. 3.350 kJ Energie aufgewendet werden. In der Regel wird als Primärbrennstoff Kohle oder Heizöl eingebracht. Der Anteil an eingesetzten Altreifen zum Gesamtenergiebedarf beträgt z. Z. ca. 10 . Es wird darüber nachgedacht, ob sich dieser Anteil durch Zugabe von Gummigranulat erhöhen läßt.

Die Zementwerke, die Abfallstoffe in ihrem Verwertungsprozeß einsetzen, unterliegen der 17. BImSchV. Die in dieser Verordnung vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte sind von Altanlagen der Zementindustrie kaum einzuhalten (u. a. Gesamt C und NO<sub>x</sub>) [5.34]. Darüber hinaus gibt es Überlegungen, ob es sich hier nicht nur um einen thermischen, sondern einen kombiniert thermisch-stofflichen Einsatz handeln könnte, da die eisenhaltigen Bestandteile der Altreifen in den Zement mit eingebunden wür-

den. Damit würde dem Vorrang der stofflichen vor der thermischen Verwertung in Ansätzen entsprochen.

#### 5.6.2.4 Rohstoffliche Nutzung

##### Pyrolyse

Unter Pyrolyse versteht man die Zersetzung von Materialien in feste, flüssige und gasförmige Produkte durch Erhitzung und unter Luftabschluß. Dieses Verfahren zur Altreifenverwertung befindet sich seit ca. 20 Jahren in der Entwicklungsphase. Bis heute existiert jedoch aufgrund der fehlenden Wirtschaftlichkeit noch keine großtechnische Anlage. Jedoch könnte mit steigender Rohstoffknappheit dieses Verfahren an Interesse gewinnen.

Bei einem Versuchsdurchlauf wurden aus einer Tonne Altreifen die folgenden Fraktionen gewonnen:

- 115 kg Brenngas für den Pyrolyseprozeß,
- 121 kg Überschußgas,
- 28 kg Lösungsmittel,
- 11 kg Lösungsmittel,
- 18 kg Mittelöl,
- 186 kg Schweröl,
- 358 kg Ruß,
- 113 kg Stahl.

##### Hydrierung

Zerkleinerter Altgummi wird bei Temperaturen von 400 °C und einem Druck von 300 bar verflüssigt und durch Anlagerung von Wasserstoff hydriert. Es entsteht ein hochwertiges Syntheseöl, das qualitativ dem Rohöl ähnlich ist und in den Raffinerieprozeß eingeschleust werden kann. So können erneut petrochemische Grundstoffe gewonnen werden. Ein Großversuch in der Kohle-Öl-Anlage der VEBA OEL AG und der Ruhrkohle Oel und Gas GmbH in Bottrop ist erfolgreich verlaufen [5.31]. Noch nicht gesichert ist die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, und großtechnische Crack- und Hydrierkapazitäten müssen erst aufgebaut werden.

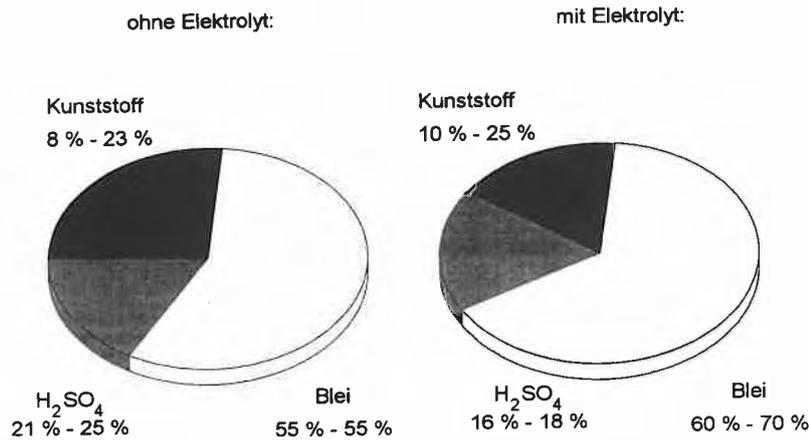
##### Gewinnung Synthesegas

Ebenfalls mit hohen Temperaturen arbeitet ein Verfahren, bei dem Altgummi zusammen mit Hausmüll in Synthesegas umgewandelt wird. Das hochwertige Gas kann entweder – wie Erdgas – zu Heizzwecken verwendet oder als Basis für die Herstellung von Chemierohstoffen dienen. Die Ergebnisse eines Großversuchs bestätigen die Durchführbarkeit des Verfahrens.

#### 5.6.3 Marktentwicklung

Die Gesellschaft für Altgummi-Verwertungs-Systeme nimmt an, daß bis zum Jahre 2000 eine vollständige Verwertung aller Altreifen zu erreichen ist (s. Tabelle 5.6). Der deutliche Schwerpunkt wird in der Verbrennung der Altreifen gesehen, entweder in Form der bisherigen Verbrennung in der Zementindustrie oder aber in Reifenheizkraftwerken. Große Hoffnung setzt die GAVS in den Einsatz von Altreifen in der

**Bild 5.9: Bestandteile (in Gew.-%) einer mit Elektrolyt gefüllten sowie einer entleerten Starterbatterie [5.36]**



erdölverarbeitenden Industrie. Hier soll das Gummi depolymerisiert werden, d. h. in niedermolekulare Kohlenwasserstoff-Verbindungen umgewandelt werden. Die Dauer der großtechnischen Umsetzung wird von der GAVS mit 3-4 Jahren prognostiziert [5.23].

## 5.7 Batterien

### 5.7.1 Anfallstellen und Aufkommen

Altbatterien fallen bei der getrennten Sammlung im Rahmen der öffentlichen Abfallbeseitigung, bei den Altfahrzeugverwertern, bei der Rücknahme von Batterien durch die Hersteller sowie als Produktionsausschuß an.

Die durchschnittliche Lebensdauer einer Starterbatterie liegt bei 4-5 Jahren. Diese – im Verhältnis zur durchschnittlichen Lebensdauer eines PKW oder LKW – geringe Lebensdauer der Starterbatterien begründet die neben der Altautoverwertung bestehenden Anfallstellen für Altbatterien.

Der Transport der überwiegend mit Säure gefüllten Batterien zum Verwerter muß gemäß Gefahrgutverordnung Straße (GGVS) in säurefesten, nichtleitenden (Kunststoffauskleidung) und wasserdicht verschlossenen Spezialcontainern erfolgen.

1992 wurden nach Aussagen des Fachverbandes Batterien in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt 201.700 Mg Sekundärblei zurückgewonnen [5.53]. Von dieser Menge werden 134.040 Mg (66 %) zur Herstellung von Akkumulatoren verwendet.

Der Anteil des zur Herstellung von Bleiakkumulatoren eingesetzten Bleis am gesamten Bleieinsatz der BRD von 354.300 Mg im Jahr 1992 ist in den letzten Jahren ständig gestiegen [5.35]. Er erreichte 1992 ca. 223.400 Mg oder 63 % des Gesamteinsatzes. Von diesem Anteil wurden wiederum 70 % zur Fertigung von Starterbatterien für Kfz und Lkw eingesetzt. Der verbleibende Anteil von 30 % wurde zur Herstellung von Bleiakkumulatoren für die Industrie verwendet.

### 5.7.2 Aufbau der Batterien

Kennzeichnend für den Aufbau von Starterbatterien ist der alleinige Einsatz von Blei als metallischen Input. Es wird in Form von Bleistaub (99,97 % Pb) zur

Herstellung der elektrisch aktiven Massen, in Form von Bleigittern (mit 2,5-3,5 Gew.-% Antimon) als Trägermaterial für diese Massen sowie zur elektrischen Verbindung von Elektroden gleicher Polarität verwendet. Zur Isolation der Elektroden unterschiedlicher Polarität werden Separatoren z. B. aus Zellulose, verschiedenen Kunststoffen (PE, PVC) oder aus Ebonit (Hartgummi) eingesetzt. Zur Herstellung der Kunststoffgehäuse wird überwiegend Polypropylen verwendet.

Als weiterer Bestandteil der Starterbatterie ist der Elektrolyt zu nennen. Er besteht aus verdünnter Schwefelsäure, die entweder in flüssiger Form oder gelförmig vorliegt. Das Gel wird durch Zugabe von Aerosil (SiO<sub>2</sub>) erzeugt.

Die Anteile (in Gew.-%) der verschiedenen Materialien am Gesamtgewicht einer mit Elektrolyt gefüllten sowie einer entleerten Batterie zeigt Bild 5.9 [5.36].

### 5.7.3 Verwertungsverfahren

Das Recycling von Blei-Säure-Akkumulatoren hat bereits eine lange Tradition in der Bundesrepublik Deutschland. Es wird von mehreren Hüttenbetrieben mit unterschiedlicher Verfahrenstechnik realisiert. Zur Zeit werden über 90 % der anfallenden Altbatterien verwertet [5.36].

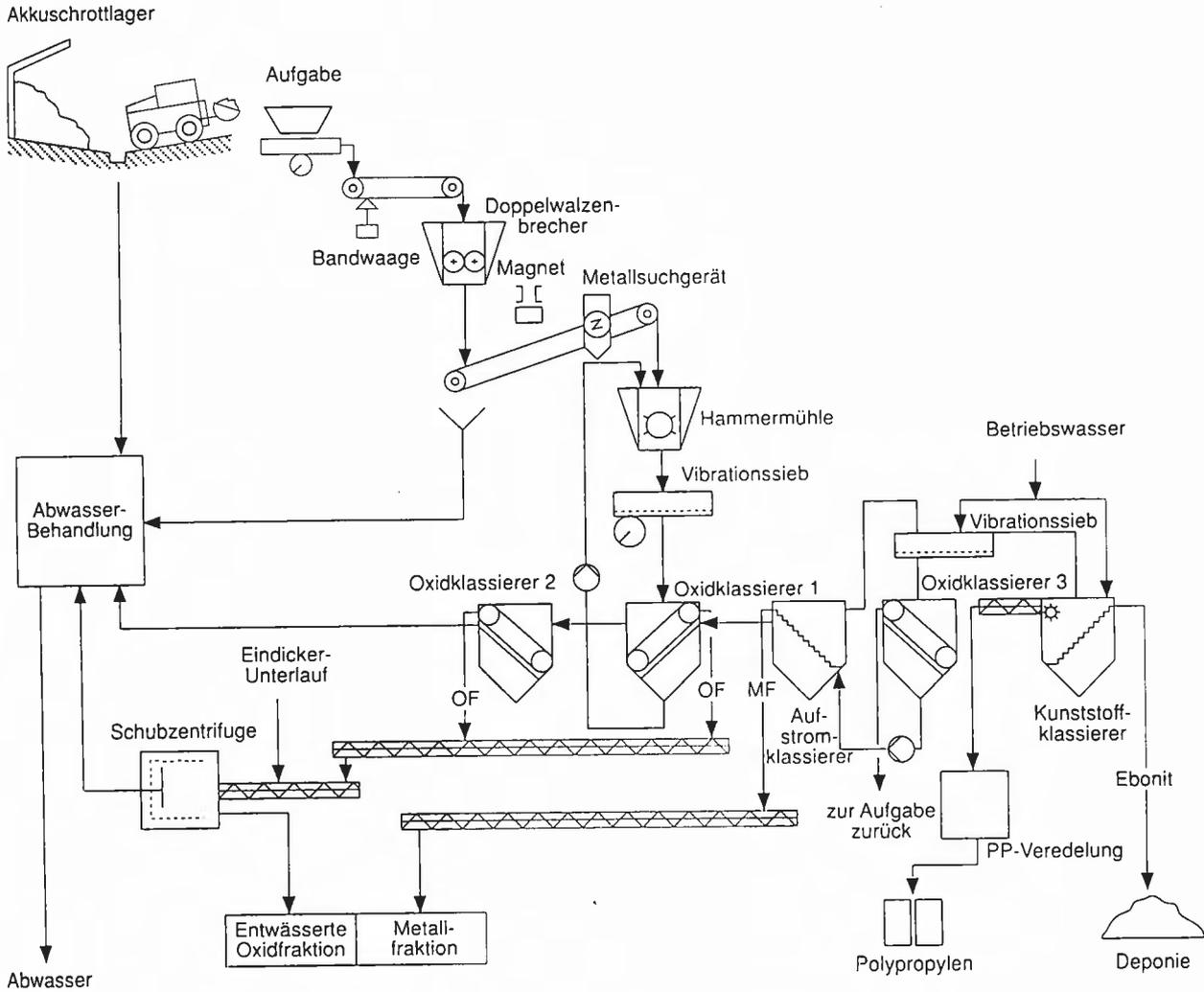
Die Gewinnung einer Rohmetallfraktion ist gegenüber anderen Aufbereitungsverfahren bei der Altfahrzeugverwertung relativ einfach, da als metallischer Einsatzstoff nur Blei zur Herstellung der Batterien verwendet wird. Als zusätzlicher Aufbereitungsschritt zur Gewinnung von Handelsblei ist trotzdem ein Raffinieren oder Legieren der Rohmetallfraktion notwendig, da unterschiedliche Bleilegien für die Batterieherstellung eingesetzt werden. Während die aktiven Massen aus Reinblei (99,97 %) hergestellt werden, enthalten z. B. die Bleigitter Antimon als Legierungsbestandteil.

Die Aufbereitungsverfahren unterscheiden sich im wesentlichen durch die Vornahme einer Abtrennung der nichtmetallischen Bestandteile bzw. durch Verwertung der Altbatterien ohne Trennung der festen Bestandteile. Die Schwefelsäure wird bei beiden Verwertungsverfahren vor der Behandlung abgelassen und als Dünnsäure verwertet oder im Zuge der Abwasserbehandlung neutralisiert. Die zunehmende Verwendung von Elektrolytgelen dürfte in Zukunft diesen Aufbereitungsschritt erschweren.

#### 5.7.3.1 Verwertung ohne Vorbehandlung

Die Rückgewinnung des in den Batterien enthaltenen Bleis erfolgt bei dieser Art der Verwertung in einem Schachtofen [5.37]. Die Batterien werden dazu unzerkleinert mit Zuschlägen (z. B. Koks, Kalkstein, Eisen) vermischt in den Ofen eingebracht. Das Schmelzen erfolgt unter stark reduzierenden Bedingungen. Dabei wird Bleioxid zu metallischem Blei umgewandelt. Schwefelverbindungen werden überwiegend in Form

**Bild 5.10: Schema der Aufbereitungsanlage [5.36]**



Zugabe von Eisen als Zuschlagstoff nötig. Ein Teil der Schwefelverbindungen wird zu Bleisulfid umgewandelt. Ca. 90 % des in den Batterien enthaltenen Schwefels, der andernfalls als  $\text{SO}_2$  aus dem Rauchgas zu entfernen wäre, wird dadurch gebunden. Das Gemisch aus Eisen- und Bleisulfid (Bleistein) wird mechanisch von der Schlacke getrennt und kann z. B. zusammen mit sulfidischen Eisenerzen verwertet werden. Die Schlacke kann z.B. im Erd- und Straßenbau verwertet oder abgelagert werden. Die Kunststoffe werden teilweise im Ofen, teilweise bei der Rauchgasnachverbrennung oxidiert. Die enthaltene Energie wird im Prozeß verwertet (thermische Nutzung). Das durch den Einsatz von PVC (z. B. für Separatoren) freiwerdende Chlor wird in Form von  $\text{PbCl}_2$  gebunden. Dieses kondensiert in den Filteranlagen der Rauchgasreinigung. CO und organische Schwelprodukte werden in der Nachverbrennung bei 900 °C bis 1000 °C oxidiert. Das flüssige Rohblei wird nach dem Austreten aus den Schachtofen zu Blöcken vergossen und in einer Anlage zur Raffination und Legierung als Hartblei (d. h. ohne Entfernen des enthaltenen Antimonanteils) weiter verwertet.

Ein Schema der Aufbereitungsanlage zeigt Bild 5.10 [5.36].

### 5.7.3.2 Verwertung mit Vorbehandlung

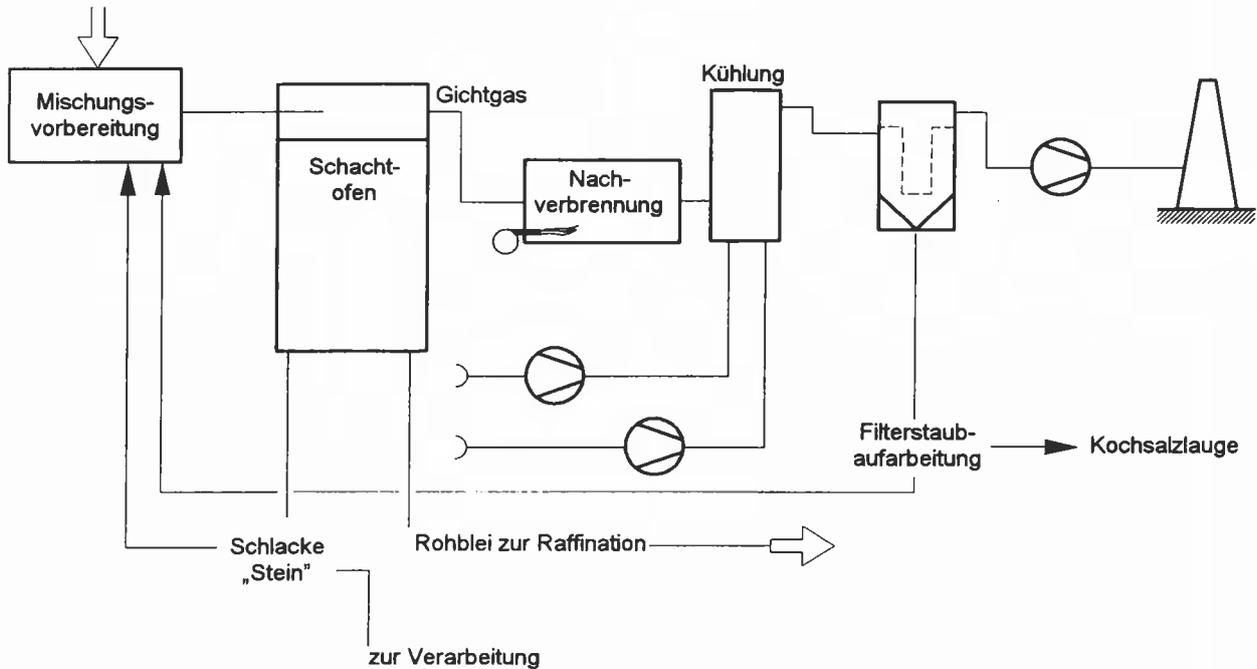
Stellvertretend für die Verwertung von Altbatterien mit Vorbehandlung wird das in der Bleihütte Oker der Metaleurop verwendete Verfahren der Aufbereitung beschrieben [5.38].

Als erster Behandlungsschritt wird mit einem Walzenbrecher eine Grobzerkleinerung der Batterien vorgenommen. Um eine Beschädigung der zur anschließenden Feinzerkleinerung eingesetzten Hammermühle zu vermeiden, werden Eisenbestandteile durch einen Magneten entfernt. Nach der Feinzerkleinerung wird mit einem Spaltsieb eine Fraktion mit einer Körnung < 0,7 mm abgetrennt.

Aus dieser wird in zwei nachgeschalteten Sedimentationsabscheidern als Schwerfraktion ein überwiegend bleioxidhaltiger Rückstand gewonnen, dessen Wassergehalt mit einer Schubzentrifuge auf 8 %-10 % reduziert wird. Diese Fraktion besteht überwiegend aus der vormaligen Elektrolytpaste und enthält daher nur geringe Mengen von Legierungsbestandteilen (Antimon). Sie wird nach Schmelzen und Reduktion zur Herstellung von Reinblei verwendet.

Die auf dem Spaltsieb entstehende Grobfraktion wird in einem Aufstromklassierer weiter getrennt. Dessen

**Bild 5.11: Verfahrensfließbild der Aufbereitungsanlage [5.38]**



Schwerfraktion besteht überwiegend aus den vormaligen Bleigittern. Da der Gehalt von Legierungsbestandteilen höher ist, wird diese Fraktion nach Schmelzen und Reduktion zur Herstellung von Hartblei eingesetzt.

Die Leichtfraktion aus der Aufstromklassierung besteht überwiegend aus nichtmetallischen Stoffen. Diese werden nach ihrer Reinigung – mit Wasser auf einem Vibrationssieb – im Kunststoffklassierer nach dem Schwimm-Sink-Verfahren in eine überwiegend polypropylenhaltige Leichtfraktion und eine ebonithaltige Schwerfraktion getrennt.

Die Ebonitfraktion wird zur Zeit nicht verwertet. Das Polypropylen wird weiter zerkleinert und mit Frischwasser gereinigt. Als weiterer Aufbereitungsschritt kann eine Windsichtung zur Abscheidung von Holz, PVC und Fasern vorgenommen werden. Diese Stoffe bilden etwa 15 %–20 % des Einsatzes an Feinmahlgut.

Der Frischwassereinsatz liegt bei ca. 2,2 m<sup>3</sup> pro Mg Batterieschrotteinsatz, der Energiebedarf für die Erzeugung von verwertbaren Einzelfractionen bei 27 kWh pro Mg Batterieschrotteinsatz.

Die Verwertung der aufbereiteten Bleifractionen erfolgt durch Aufschmelzen und Reduktion in einem Drehrohfen. Der bleihaltige Gipsschlamm aus der Abwasserbehandlung wird auf die gleiche Art verwertet. Die Bleifractionen werden chargenweise geschmolzen, damit keine Vermischung des gering legierten Reinbleis mit dem hoch (3,5 %–5 %) mit Antimon legierten Hartblei erfolgt. Abschließend kann die Herstellung von Handelsblei mit bestimmter Legierungszusammensetzung durch Raffination erfolgen.

Ein Verfahrensfließbild der Aufbereitungsanlage zeigt Bild 5.11 [5.38].

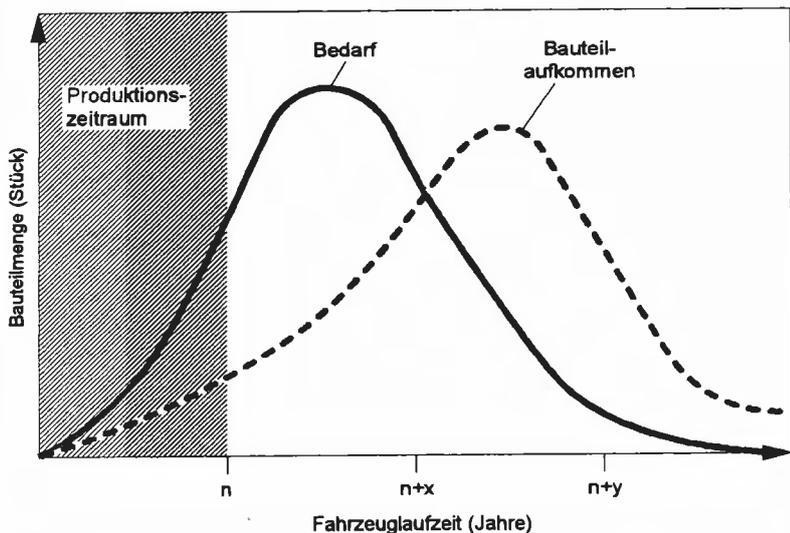
## 5.8 Bauteilverwendung

Die Wiederverwendung von Bauteilen, -gruppen und Aggregaten wird im Servicebereich der Kfz-Branche seit langem praktiziert. Vor allem Verschleißteile werden auch durch aufgearbeitete Austauschprodukte, z. B. Bremssteile, Motoren, Motorteile und Getriebe ersetzt. Die Teile werden durch spezialisierte Betriebe, die Automobilhersteller selbst oder ihre Zulieferer aufgearbeitet. Diese Teilkreisläufe funktionieren für bestimmte Fahrzeugmodelle so lange, wie diese selbst produziert und mit relativ hohem Bestand gefahren werden.

So wurden zum Beispiel bei BMW 1991 ca. 20.000 Triebwerke, 280.000 Wasserpumpen, 9.500 Hinterachsen, 1.800 Anlasser und 8.000 Lichtmaschinen instandgesetzt [5.42]. In Tabelle 5.7 ist das Sortiment der von VW und Audi angebotenen Austauschteile und Baugruppen beispielhaft aufgeführt.

Bei der Aufarbeitung werden durch die Automobilhersteller zwei Vorgehensweisen praktiziert: Die eine Möglichkeit besteht darin, die Identität eines Altaggregate, z. B. eines Motors, zu erhalten, d. h. während der Aufarbeitungsschritte bei unveränderter Motornummer nur die zerstörten Teile auszuwechseln und die Verschleißzonen nachzuarbeiten, was eine besondere Zuordnung der Toleranzen von zu ersetzenden Teilen, z. B. Kolben oder Lagerbuchsen, zu den nachgearbeiteten Zonen, z. B. Zylinderlaufflächen oder Lagerstellen der Kurbelwelle, erfordert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Verband des Altaggregate vollständig aufzulösen und die Teile hinsichtlich ihrer Toleranzfelder wie bei der Neufertigung zu behandeln. Dadurch ergibt sich, daß bei der Montage von Austauschaggregaten aufgearbeitete Alteile und Neuteile wie bei der Neufertigung kombiniert werden können, d. h., daß gleiche oder ähnliche Ferti-

**Bild 5.12: Zeitliche Abhängigkeit des Bedarfs und der Anfallmenge von Austauschteilen für ein beliebiges PKW-Modell**



**Tabelle 5.7: Austauschteileangebot eines Automobilherstellers**

Motor	Kurbelwelle	Bremsbacken
Teilmotor	Automatikgetriebe	Bremssättel
Vakuumpumpe	Schaltgetriebe	Servolenkung
Wasserpumpe	Kupplung	Gelenkwelle
Ölkühler	Kupplungsscheibe	Generatoren
Einspritzdüse	Kraftstoffmengenteiler	Wandler
Einspritzpumpe	Turbolader	Starter
Zylinderkopf		

gungs- und Montageeinrichtungen wie bei der Neufertigung eingesetzt werden können [5.41].

In der Bundesrepublik gibt es etwa 250 Unternehmen, die Motoren und andere Baugruppen von Kraftfahrzeugen, vor allem Getriebe, instandsetzen. Etwa 140 Betriebe sind Mitglieder im Verband der Motoren-Instandsetzungsbetriebe e. V. Nach Schätzung des Verbandes repräsentieren die im Verband zusammengeschlossenen Unternehmen 75 % der nicht konzerngebundenen Motoreninstandsetzungsbetriebe der Bundesrepublik. Die Aufnahme in den Verband wird vom Nachweis fachlicher Qualifikation und von Vorhandensein eines ausreichenden, festgelegte Maschinenparks abhängig gemacht, wie aus den Güte- und Prüfbestimmungen z. B. für generalüberholte Motoren hervorgeht. Eine amtliche Produktionsstatistik

gibt es für diesen Industriezweig nicht, es wird jedoch geschätzt, daß die im Verband zusammengeschlossenen Firmen einen jährlichen Umsatz von etwa 300 Mio. DM haben. Nach eigener Schätzung liegt der Marktanteil des Verbandes unter 5 % bei PKW-Motoren und bis zu 50 % bei Industrie-Dieselmotoren. Der Marktanteil für Nutzfahrzeug-Dieselmotoren liegt zwischen 5 und 50 % [5.41].

Für einige Bauteile und Aggregate besteht auch über die Nutzungsdauer eines Fahrzeugmodells hinaus ein Markt, da bei Modellwechseln nicht alle Teile verändert werden. Weiterhin werden im Automobilbau eine Reihe von Teilen verwendet, die modellunabhängig sind, z. B. Lichtmaschinen und Anlasser. Eine wesentliche Voraussetzung für die Eignung als Austauschteil ist dessen Zustand beim Ausbau. Einschränkend sind Verschleißmerkmale, Korrosion und unreparable Defekte. Begrenzt wird

die Eignung auch durch die Weiterentwicklung des Standes der Technik.

Demontagebetriebe können durch die Vermarktung von Bauteilen vorrangig aus Unfallfahrzeugen geringen Alters Einnahmen erzielen. Mit zunehmendem Alter der Fahrzeuge nimmt der Bedarf an den gewinnbaren Ersatzteilen ab.

In der folgenden Abbildung ist schematisch die Marktsituation für Austauschteile eines beliebigen Pkw-Modells dargestellt. Der Bedarf an Austauschteilen steigt mit zunehmendem Bestand. Nach dem Auslaufen der Produktion des Modells beginnt der Bedarf zu stagnieren und geht mit abnehmendem Bestand zurück. Die Abnahme des Bestandes bewirkt zwangsläufig eine Zunahme der gewinnbaren Ersatzteile, da immer mehr Fahrzeuge dieses Modells zur Verschrottung gelangen. Daraus wird erkennbar, daß die Vermarktung von Ersatzteilen aus Altfahrzeugen für den Demontagebetrieb aufgrund der Schere zwischen Bedarf und Anfallmenge keinen uneingeschränkten Wirtschaftlichkeitsfaktor darstellt.

Bild 5.12 verdeutlicht die zeitliche Abhängigkeit des Bedarfs und der Anfallmenge von Austauschteilen für ein beliebiges Pkw-Modell.

Nach Schätzungen der Thyssen AG [5.39] kann der Verkaufserlös aus der Altautoverwertung (incl. Wertstoffen) je Fahrzeug mit etwa 270–300 DM angesetzt werden. Die Firma ALBA, Berlin [5.40] gibt ihre derzeitigen Ersatzteilerlöse im Durchschnitt mit weniger als 100 DM an. Die erzielbaren Erlöse sind maßgeblich von Alter und Zustand der Altfahrzeuge abhängig. Deshalb sind starke Schwankungen der Durchschnittserlöse zu erwarten.

## 6. Konzepte und Projekte zur Altautodemontage

Die zunehmenden Verwertungs- und Entsorgungsprobleme der Autoverwertung und die sich abzeichnende Verschärfung der Gesetzeslage bewogen die Automobilhersteller, Altautoverwerter und die material- bzw. sekundärstoffverwertende Industrie, Konzepte für eine zukünftige Altautoverwertung zu entwickeln. Zu diesem Zweck schlossen sich die von dieser Problematik betroffenen Unternehmen oder Unternehmensverbände zu Projektgruppen zusammen. Im Rahmen der Konzeptentwicklung wurden mehrere Projekte initiiert, deren Zielsetzung darin liegt, sowohl praktisch-technologische Erfahrungen zu sammeln, als auch Logistikmodelle der Altautoerfassung sowie Verwertungsmöglichkeiten der aus der Demontage resultierenden Materialströme zu untersuchen.

Die Automobil- und Zulieferindustrie sucht in gemeinsamen Projekten mit den Industriezweigen Metall, Chemie und Kunststoffverarbeitung nach Technologien und Verfahren zur Schließung von Material- und Stoffkreisläufen. Ziel dieser Aktivitäten ist es, neben der Entspannung der Entsorgungssituation den anstehenden gesetzlichen Regelungen (vgl. Kap. 2) eigene, möglichst marktnahe Modelle gegenüberzustellen und somit auch Einfluß auf die Entwicklung der maßgeblichen rechtlichen Regelungen zu nehmen. Durch die Ergebnisse eigener konzeptioneller und praktischer Untersuchungen sollen alternative Konzepte (z.B. freiwillige Vereinbarungen) zu den geplanten Gesetzen und Vorschriften gefunden werden.

### 6.1 Automobilindustrie

Im Herbst 1990 wurde vom Verband der Automobilindustrie (VDA) gemeinsam mit verschiedenen Verbänden ein Konzept zur zukünftigen Altautoverwertung vorgelegt. Durch die Projektgruppe Altautoverwertung der deutschen Automobilindustrie (PRAVDA) wurde ein Großversuch initiiert, u. a. mit dem Ziel, Demontagetechniken zu entwickeln, zu optimieren, Materialkreisläufe aufzubauen bzw. Werkstoffe für Recyclingversuche bereitzustellen.

In Veröffentlichungen des VDA zum gemeinsamen Konzept der Automobilindustrie werden dieses und der vom Bundesministerium für Umwelt vorgelegte Entwurf einer Altautoverordnung als nicht miteinander vereinbar bezeichnet. Während der Entwurf des BMU die kostenlose Rücknahme des Altautos durch die Hersteller verlangt, fordert das VDA-Konzept die Rücknahme durch die Recyclingwirtschaft unter freier Preisbildung zwischen Letztbesitzer und Verwerter.

Das von den beteiligten Verbänden erarbeitete Konzept stellt sich in groben Zügen wie folgt dar [6.1]:

- Die beteiligten Verbände bauen ein flächendeckendes Rücknahme- und Verwertungssystem auf. Annahmestellen sind Kfz-Betriebe und zertifizierte Verwertungsbetriebe.
- Die Autoverwertung wird von zertifizierten Verwerterbetrieben durchgeführt. Verwerterbetriebe und berechnigte Annahmestellen händigen einen Verwertungsnachweis aus. Nur mit Verwertungsnach-

weis ist eine Abmeldung bei der Zulassungsstelle möglich.

- Eine Koordinationsstelle beim VDA erarbeitet Grundlagen zum Errichten und Betreiben von Verwertungsanlagen („TA Kfz-Recycling“).
- Das Konzept folgt den Regeln der Marktwirtschaft; die Preisgestaltung richtet sich nach Art und Zustand des Fahrzeugs.
- Die Verwertungskosten von Altfahrzeugen, deren Letztbesitzer sich nicht ermitteln lassen, übernimmt der Fahrzeughersteller bzw. -importeur.
- Zielstellung bis zum Jahr 2000 ist die stoffliche Verwertung von 20 % der bisher nicht verwertbaren Reststoffe.
- Als langfristiges Ziel ist eine stoffliche Verwertung von 60 % der nichtmetallischen Werkstoffe angestrebt.

An die Verwerterbetriebe werden folgende Anforderungen gestellt:

- Die Betriebe sollen nach dem Bundes-Immissionschutzgesetz genehmigt sein.
- Die Betriebe müssen die Anforderungen einer noch zu schaffenden „TA Kfz-Recycling“ erfüllen, in welcher der Stand der Technik festgelegt ist.
- Eine Überwachung der Betriebe soll durch Behörden oder auf privatrechtlicher Basis erfolgen.
- Verwerterbetriebe können mit Fahrzeugherstellern kooperieren oder frei arbeiten.

Als Schlußfolgerung des Konzeptes sehen die beteiligten Verbände die in der Koalitionsvereinbarung der Bundesregierung angekündigte Altautoverordnung als überflüssig an. Die auf der Freiwilligkeit beruhende Zusage zum Aufbau eines Rücknahme- und Verwertungssystems wird als ausreichend zur Durchsetzung der umweltpolitischen Zielstellung für das Altautorecycling dargestellt. Das dem Konzept zugrundeliegende Kooperationsprinzip der beteiligten Wirtschaftszweige sei weitaus vorteilhafter als eine starre Verordnung. Die Aufgabe der Politik wird in der Zustimmung zu einer Technischen Anleitung „Kfz-Recycling“ und zu einem rechtlich geregelten Verwertungsnachweis gesehen. Die so festgelegten Anforderungen an einen Verwertungsbetrieb und die damit verbundene Kontrollierbarkeit der Altautoverwertung sollen der derzeit häufig noch unkontrollierten Autoverwertung einen Riegel vorschieben.

#### 6.1.1 Projekt Altfahrzeugverwertung der deutschen Automobilindustrie (PRAVDA)

Zur wirtschaftlichen Realisierung des Konzeptes der Automobilindustrie wird noch Klärungsbedarf in folgenden Punkten gesehen [6.2]:

- Durchführung der Demontage (Band- oder Inseldemontage)
- Möglichkeiten der Mechanisierung und Automatisierung der Demontage
- Aufbau der notwendigen Sammel- und Transportlogistik

- Aufbau geschlossener Materialkreisläufe
- Einbindung vorhandener Infrastrukturen

In den letzten Jahren haben sich deshalb eine Reihe von Aktivitäten entwickelt. Die Automobilhersteller sind in ihren Forschungs- und Entwicklungsabteilungen mit der Konstruktion recyclingfreundlicher Fahrzeuge beschäftigt. In diesem Zusammenhang werden in der Automobilindustrie hauseigene Pilotprojekte zur Demontage von Altfahrzeugen betrieben, so daß die Ergebnisse der Versuche direkten Eingang in die Konstruktion neuer Fahrzeuge finden können. Darüber hinaus werden aus diesen Erfahrungen Demontagehandbücher entwickelt, die den Verwertungsbetrieben als Hilfestellung dienen sollen.

Über diese Pilotprojekte hinaus wurde das von den deutschen Automobilherstellern getragene Demontageprojekt „PRAVDA“ [6.3] mit den Zielen durchgeführt:

- Demontagetechniken zu erlernen und zu optimieren,
- Demontagezeiten und ausgebaute Materialmengen für verschiedene Fahrzeuge im Praxisversuch zu ermitteln,
- geschlossene Materialkreisläufe für nichtmetallische Werkstoffe aufzubauen,
- Werkstoffe für Recyclingversuche bei den Rohstoffherstellern bereitzustellen und
- Kostenstrukturen zu ermitteln.

Zur Erreichung dieser Ziele wurden in ausgewählten Verwerterbetrieben (pro Automobilunternehmen 1–2 Verwerterbetriebe) mehrere hundert Fahrzeuge demontiert und die nichtmetallischen Werkstoffe für Recyclingversuche an verschiedene Rohstoffhersteller weitergeleitet.

Durch die beteiligten Hersteller wurden, soweit möglich, Demontagehandbücher bereitgestellt, welche die Demontagefolge und die Materialzuordnung der auszubauenden Teile vorgeben.

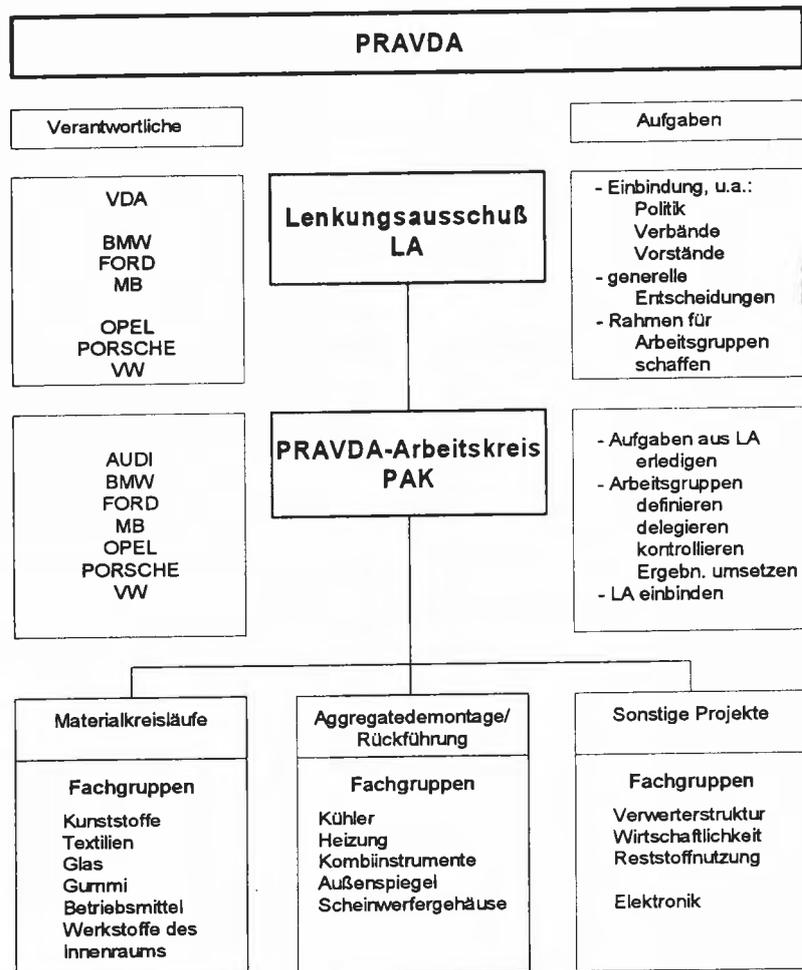
Im Rahmen der Untersuchungen konnten Trockenlegungs- und Demontagezeiten aufgenommen, deren Schwankungsbreiten aufgezeigt und Abhängigkeiten zwischen Demontagegrad und Zeitaufwand ermittelt werden (vgl. Kap. 6.3.2).

In Bild 6.0 sind Struktur und Aufgaben des PRAVDA-Projektes dargestellt, dessen wesentlichen Merkmale zeigt die folgende Übersicht [6.2]:

#### Wesentliche Merkmale:

- Demontage von Fahrzeugen bei ausgewählten Verwertern.
- Erfahrungstransfer durch markenübergreifende Demontage an den Demontagestandorten.

Bild 6.0: Struktur und Aufgaben des PRAVDA-Projektes



- Bereitstellung von Demontagekatalogen durch die Automobilhersteller zum Zweck der eindeutigen Identifizierung von Kunststoffen.
- Getrennte Sammlung verschiedener Kunststoffe und Weiterleitung an die Rohstoffhersteller.
- Sammlung von Glas, Gummihaarpolstern, Sicherheitsgurten und Gummidichtungen.

#### 6.1.2 Projekte der Automobilimporteure

Ähnlich dem PRAVDA-Projekt werden von den Automobilimporteuren und dem Verband der Importeure von Kraftfahrzeugen (VDIK) verschiedene Untersuchungen durchgeführt.

So haben die Importeure Chrysler, Daihatsu, Honda, Hyundai, Lada, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Rover, Subaru, Suzuki und Toyota unter Beteiligung des VDIK den RWTÜV damit beauftragt, sie beim Aufbau eines Altfahrzeugverwertungsnetzes zu unterstützen.

Die Vertriebsorganisationen von den sieben europäischen Herstellern Renault, Volvo, Alfa Romeo, Citroen, Fiat, Lancia und Peugeot haben sich zum Europäischen Herstellerkreis Auto Recycling (EURHEKAR) zusammengeschlossen [6.4]. Der TÜV Bayern Sachsen übernimmt dabei die Planung und Koordination der Realisierung einer flächendeckenden Rücknahme und Verwertung von Altfahrzeugen der beteiligten Herstellermarken. Weiterhin sollen durch den TÜV

**Tabelle 6.1: Mengenbilanz ARIV I [6.5]**

Material/Stoff	Menge (Mg)	Demontagequote (%)	zu verwertende Menge (Mg)
Kunststoffe	6.150	40	2.460
Gummi	4.590	90	4.130
Glas	2.800	90	2.520
Flüssigkeiten	2.430	90	2.190
Metalle	96.000		96.000
Sonstiges	6.600		
<b>Summen</b>	<b>118.570</b>		<b>107.300</b>
Differenz (Mg): (Shredderleichtfraktionen)			11.270

die Qualitätsstandards entsprechend den gesetzlichen Regelungen gewährleistet (Kontrollfunktion) sowie die technischen Demontagedokumentationen, Handbücher und die aktuellen Preislisten der Reststoffhändler an die Verwertungsbetriebe übermittelt werden.

Letztbesitzer sollen ihr Fahrzeug zukünftig an Annahmestellen abgeben können. Dies sollen neben den ausgewählten Verwertungsbetrieben, entsprechend den Anforderungen des TÜV, die Automobilhändler sein. Diese werden vom jeweiligen Generalimporteur dazu lizenziert. Der Transport der Altfahrzeuge zum Verwertungsbetrieb soll durch vertraglich gebundene Firmen erfolgen.

In den Verwertungsbetrieben wird die Demontage durchgeführt und die gewonnenen Materialien über Reststoffhändler der Wiederaufbereitungsindustrie zugeführt. Der Letztbesitzer erhält von der Annahmestelle eine Durchschrift des Verwertungsnachweises und meldet damit das Fahrzeug bei der Zulassungsstelle ab. Die Verwertung markenfremder Fahrzeuge soll auch möglich sein, jedoch wird in diesen Fällen kein Verwertungsnachweis ausgestellt.

Analog dem EURHEKAR-Projekt haben sich die Firmen Chrysler, Daihatsu, Honda, Mazda, Subaru, Suzuki und Toyota unter dem Titel Marktübergreifende Automobil-Recycling Initiative (M.A.R.I.) zusammengeschlossen.

## 6.2 Sonstige Initiativen

### 6.2.1 Automobilrecycling im Verbund (ARIV)

Unter der Koordination des Initiativkreises Ruhrgebiet haben sich verschiedene, von der Altfahrzeugentsorgung betroffene bzw. daran interessierte Unternehmen der Automobilindustrie, der Entsorgungsbranche und der Chemie- und Energiewirtschaft zu einer Arbeitsgemeinschaft „ARIV – Automobilrecycling im Verbund“ zusammengeschlossen. Zielsetzung des Projektes war die Erarbeitung eines gemeinsamen Verwertungskonzeptes für das Ruhrgebiet [6.5, 6.16].

Ausgehend von statistischen Zahlen des Kraftfahrzeugbundesamtes wurden Mengen- und Stoffbilanzen erstellt. Für die stoffliche Zusammensetzung der Altfahrzeuge wurden, gewichtet nach Verkaufszahlen, die Da-

ten von Pkws der Firmen Ford und Opel aus zwei Produktionszeiträumen herangezogen. Unter Einbeziehung von definierten Demontagequoten wurden so die notwendigen Verwertungskapazitäten ermittelt. Als Organisationsform der Demontagebetriebe wurde das Inselprinzip zu Grunde gelegt.

Für das Jahr 1992 ergab sich auf der Grundlage von einem Gesamtgewicht der Altfahrzeuge von 118.500 Mg die in der Tabelle 6.1 dargestellte rechnerische Bilanz [6.5].

Ausgehend von einem Anlagenumsatz von 40 Altfahrzeugen pro Tag wären im Ruhrgebiet für die Demontage von 135.000 Fahrzeugen insgesamt 13 Betriebe erforderlich. Bis

zum Jahr 2002 wird die Notwendigkeit von vier weiteren Betrieben zur Bewältigung von dann geschätzten 171.000 Pkw/a prognostiziert.

Vom Frühjahr bis Herbst 1993 wurde das anschließende ARIV II-Projekt durchgeführt, in dem die rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Demontagebetriebe, die Voraussetzungen für den Aufbau von Materialkreisläufen einschließlich der entsprechenden Marktübersicht und die Entsorgungsproblematik der verbleibenden Shredderfraktion untersucht sowie die Voraussetzungen für den Aufbau einer Automobilrecyclingwirtschaft aufgezeigt wurden [6.14].

Als ein wesentliches Problem wird von der Arbeitsgemeinschaft die Verfügbarkeit der Altfahrzeuge angesehen. Durch die unterschiedlichen Standards zur Altfahrzeugentsorgung in den europäischen Nachbarländern besteht ein Kostengefälle, welches sich laut ARIV noch verstärken wird. Infolgedessen wird eine weitere Steigerung von Altfahrzeugexporten prognostiziert. Als wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung eines flächendeckenden Automobilrecyclings wird deshalb die Schaffung einheitlicher europäischer Standards für die Altfahrzeugverwertung gefordert. Der Zeitraum für die Angleichung der Standards in Europa wird auf zehn Jahre geschätzt. In diesem Zeitraum ist mit dem Export eines Großteils der Altfahrzeuge zu rechnen. Somit kommt die Studie zu dem Schluß, daß ohne einheitliche europäische Standards der Aufbau eines Automobilrecyclings in Deutschland nicht sinnvoll und die Existenz der Shredderbetriebe gefährdet wäre.

Im Rahmen des Projektes wurde in einer Marktstudie die Verwertung der bei der Demontage anfallenden Materialien untersucht. Im Ergebnis der Studie wird dargestellt, daß die Verwertung der Materialmengen nicht grundsätzlich gewährleistet werden kann und nur für die Verwertung von Glas ausreichende Kapazitäten vorhanden seien. Die Verwertung von Gummi und Kunststoffen sei derzeit noch nicht kostendeckend möglich.

Als Problemlösungen zeigt das ARIV II – Konzept folgende Ansätze auf:

- Entwicklung und Umsetzung einheitlicher Standards in der Europäischen Gemeinschaft,
- Ausgleichung des Kostenüberhanges bis zur Umsetzung der Standards,

Tabelle 6.2: Demontageanlagen und Aktivitäten zur Altkar-Verwertung in der Bundesrepublik Deutschland

Firma/Projekt/ Betreiber	Anlagen- standort	Durchsatz [Fzg/a]	Inbetrieb- nahme	Kooperations- partner	Bemerkungen
Abfallentsorgungs- Gesellschaft Ruhrgebiet (AGR)	Herten	20.000	für Herbst 1994 geplant	Kfz-Innungen, Maschinenfabrik Hese, Preussag, Rethmann	erste Ausbaustufe: 60 Fzg/a; zweite Ausbaustufe 120 Fzg/a, Anlage in Planung
ALBA /Lepkojus Innovations Gesellschaft	Berlin	7.500	1993		Pilotprojekt mit Investitionsmitteln des Bun- desumweltministeriums, Demontage nach dem Inselprinzip, Anlage in Betrieb
AMB GmbH		7.000			Anbieter für Demontageanlagen, Fließprinzip
Auto-Recycling- Centrum Güstrow	Güstrow	5.000	1992	EURHEKAR, Opel	Anlage in Betrieb
Centrum Automobilrecycling Saarland CARS	Saar- brücken		1991	Peugeot, SRP, Kfz-Verband, Innovatios- beratungsstelle	Pilotanlage, Fließprinzip jedoch ohne Fördersystem, Anlage in Betrieb
GAT/ Aumund	München	15.000	1994		Altkar-Demontagestraße nach dem Fließprinzip, Anlagentechnik Firma Aumund und GAT, Anlage in Planung
Hoesch	Leer				Demontageanlage nach dem Fließprinzip, Fördertechnik Fa. Eisenmann, ehemals VW- Pilotanlage, seit Übernahme durch Hoesch/Krupp nur noch für Forschungstätigkeiten genutzt (außer Betrieb).
Klöckner & Co AG	Norderstedt	25.000	für 1994 vorgesehen	Kiesow GmbH	Klöckner Kunststoff- und Automobilrecycling GmbH, Kooperation mit Kiesow Autoverwertung Hamburg, mehrere Verwertungszentren in Planung
MIT - FRT	Malnz			EURHEKAR- Partner	Mainz Industrie Technologie (ehemals MIP) Erprobung industrieller Demontage (Fließprinzip), Großdemontage in Planung
Preussag Recycling GmbH	Salzgitter		für 1994 vorgesehen	Noell, Tammling Technik	Großdemontageanlage der Preussag AG in Planung. Bis 1996 sollen bundesweit ca. 60-100 Demontagezentren errichtet werden, die als eigenständige Gesellschaften arbeiten, aber unter der Leitung der Preussag stehen.
RWE Gesellschaft für Automobil- und Produktrecycling mbH (RAP)	Bochum			Seik GmbH Automobil- Recycling	Aufbauend auf vorhandenen Altkarverwer- tungsbetrieben soll ein Verbund gegründet werden. Anlagen nach dem Inselprinzip. Ersatzteildemontage wird bei der Fa. Seik seit 20 Jahren praktiziert.
Sachsenring Automobilwerke	Zwickau	2.500	1992	Peugeot, Citroen	Pilotprojekt, Kooperationsabkommen mit PSA, Aufbau eines Recyclingzentrums geplant, EURHEKAR-Partner, Anlage in Betrieb
Schenk Engineering	k.A.	k.A.	für Herbst 1994 geplant		Anbieter von Demontageanlagen nach dem Fließprinzip, Anlagenkonzept
SKET GmbH	Bitterfeld	20.000	für 1994 vorgesehen	Barec GmbH	Demontage nach dem Fließprinzip, Besonderheit: Drehgestell für Arbeiten an der Fahrzeugunterseite, Anlage in Planung

- Vereinheitlichung der unterschiedlichen Wettbewerbsbedingungen durch ein Anforderungsprofil für Altautoverwerter. Von der ARiV – Arbeitsgemeinschaft wurde dazu ein entsprechendes Profil entwickelt, welches das LAGA-Merkblatt „Autowracks“ ersetzen soll.
- Schaffung von Absatzwegen für die aus der Verwertung resultierenden Materialien. Dazu wurde für Nordrhein-Westfalen eine Marktübersicht erarbeitet.

### 6.2.2 Überregionale Konzepte

Die RWE Entsorgung AG hat die RWE Gesellschaft für Automobil- und Produktrecycling mbH (RAP) gegründet. Die RAP will die Leistungen anderer Unternehmen der RWE-Gruppe, beispielsweise zur Entsorgung von Altöl und anderen Betriebsflüssigkeiten, nutzen. Für die Demontage der Altautos soll auf die vorhandenen Strukturen der Altautoverwertung zurückgegriffen werden. Gemeinsam mit dem Tochterunternehmen SEIK GmbH AUTOMOBILRECYCLING, Bochum, soll ein Verbund an Verwertern aufgebaut werden [6.9].

Die Preussag AG will im Franchise Verfahren ein flächendeckendes Netz von Demontagezentren für das Automobilrecycling aufbauen. Leitungsgesellschaft ist die Preussag Recycling GmbH (PRG). Bis zum Jahre 1996 sollen 80 bis 100 Demontagezentren entstehen. Der Jahresumsatz der einzelnen Demontagezentren soll laut Preussag durchschnittlich zwischen 5 und 12 Mio. DM liegen [6.10].

Das Franchise Angebot der Preussag reicht von der Bau- und Betriebsbetreuung der Anlagen bis hin zur Verwertungs- und Entsorgungslogistik. Den Franchise-Nehmern sollen schlüsselfertige Anlagen geliefert werden. Die Produkte und Reststoffe der Demontage sollen über ein Kooperationsystem einer Verwertung zugeführt werden. Die Verwertung der Metallfraktionen erfolgt direkt durch die Preussag.

Die beiden ersten Demontagezentren, die in Salzgitter und Recklinghausen entstehen sollen, wird die PRG zusammen mit Partnern der Entsorgungswirtschaft und der Autoverwertung selbst betreiben.

Im Frühjahr 1994 schlossen die PRG und VW/Audi einen Kooperationsvertrag. Spätestens 1997 soll die Rücknahme aller Altfahrzeuge der Marken VW und Audi bundesweit über die ca. 3600 VW/Audi-Partner erfolgen. Diese werden an die von der PRG geplanten 80 bis 100 Verwertungsbetriebe angeschlossen.

Ein Recycling- und Logistiksystem für den Ballungsraum Köln ist z. Z. unter dem Namen „Kölner Modell“ im Aufbau. Integriert sind verschiedene Autohändler, Altautoverwerter, Transportunternehmen und die Fa. Thyssen Sonnenberg, die für wesentliche Teile des Recyclings und der Entsorgung Verantwortung trägt [6.11].

Das für alle Betriebe der Automobil- und Verwertungsbranche offene Kölner Modell verfügt im Stadtgebiet über ca. 20 markenunabhängige Annahmestellen für Altfahrzeuge. Die Altautos werden bei den angeschlossenen Autohändlern auf wiederverwertbare Teile taxiert und für eine von der Recyclingwirtschaft ermittelte Gebühr von 250 DM vom Letztbesitzer zurückgenommen. Danach wird ein Verwertungsschein

ausgestellt, der mit den zuständigen Behörden abgestimmt ist. Der Verwertungsschein dient gleichzeitig als Quittung für den Letztbesitzer, als Bescheinigung für die Zulassungsstelle und als Information für die anderen Stellen der Recyclingkette (Transporteur, Demontagestation usw.).

Die Altfahrzeuge werden dann von der Annahmestelle mit einem Spezialtransporter zu den angeschlossenen Verwerterbetrieben geführt. Dort werden die angelieferten Altautos trockengelegt und demontiert. Thyssen Sonnenberg hat für das Trockenlegen der Fahrzeuge einen mobilen Entsorgungscontainer entwickelt, der die sortenreine Rückgewinnung der Fahrzeugflüssigkeiten ermöglichen soll. Die zurückgewonnenen Betriebsflüssigkeiten sowie Fahrzeugteile wie Reifen, Radio, Batterie, Motor, Ölfilter, Verglasung und Katalysator werden verwertet bzw. entsorgt.

Die bundesweite flächendeckende Rücknahme, Verwertung und Entsorgung von Altautos will die neugegründete ADA – Arbeitsgemeinschaft Deutscher Automobilrecyclingbetriebe GmbH mit Sitz in Köln verfolgen. Der Arbeitsgemeinschaft gehören in Deutschland bislang 49 Betriebsstätten an. Die ADA befaßt sich mit der Planung, der Entwicklung und dem Betrieb von abfallrechtlich zugelassenen Anlagen zur Altautoverwertung sowie Shredderanlagen im Bundesgebiet.

### 6.2.3 Ausgewählte Einzelprojekte

An der Universität Twente (Enschede, NL) wurde bereits 1984 bis 1990 ein Modellversuch zur Demontage von Pkws durchgeführt [6.15]. Insgesamt wurden 50 Altautos (33 verschiedene Typen der Baujahre 1972 bis 1978) demontiert, die einen Querschnitt der in den Niederlanden zugelassenen Pkws darstellten (60 % Marktanteil). Ziel der Untersuchung war es, eine Datenbasis für zukünftige, nach marktwirtschaftlichen Kriterien arbeitende Demontageeinrichtungen zu schaffen. Unterstützt wurde der Modellversuch von den niederländischen Ministerien für Umwelt und für Wirtschaft, dem Nationalen Institut für Gesundheit und Umweltschutz sowie den Betreibern von Shredderanlagen und Autoverwertungen.

Die Demontage der Fahrzeuge erfolgte manuell mit Standardwerkzeugen. Die Zerlegung erfolgte gemäß einer Demontageliste, in der die Pkws in zwölf Blöcke eingeteilt wurden. Die benötigten Zeiten wurden für jeden Block einzeln ermittelt und die erhaltenen Daten in einer Datenbank gespeichert, so daß die Ergebnisse, die sich aus ca. 30.000 Einzeldaten zusammensetzen, EDV-gestützt ausgewertet werden konnten.

Bereits Mitte der 80er Jahre begann die Fa. ALBA Recycling, Berlin, erste Konzeptionen für eine Anlage zur Autodemontage zu entwickeln. Die Anlagenplanung wurde von der Fa. INTECUS durchgeführt. Eine Baugenehmigung wurde 1992 erteilt und der Betriebsbeginn erfolgte im Mai 1993. In der typenoffenen Anlage, die nach dem Inselprinzip organisiert ist, können auf acht Demontageplätzen im Einschichtbetrieb durchschnittlich 30 Fahrzeuge pro Tag durchgesetzt werden (vgl. Kap. 4.3.3).

1990 startet der ADAC gemeinsam mit dem Altautoverwertungsunternehmen Gross in Köngen bei Stuttgart erste Aktivitäten zum Altautorecycling. In einem

Tabelle 6.3: Auswahl von Projekten und Aktivitäten zur Altfahrzeugverwertung im Ausland [nach 6.2]

Firma/Projekt	Bemerkung
BMW in England	Rückgabe von Altfahrzeugen an Händler zwecks Recycling möglich
Renault, Volvo	Kooperation, Erarbeitung von Demontageverfahren (seit 1991)
ACORD in England	ACORD = Automative Consortium on Recycling and Disposal; Kooperationspartner sind Ford, Rover Vauxhall, BMW, Jaguar, Nissan, Peugeot-Talbot
Franz de Mosselar BV, Niederlande	Demontageanlage in Dungen bei Breda, Durchsatz 17.000 Fahrzeuge (1992), Anlagenhersteller Fa. Car Recycling Systems, Banddemontage mit "Wendemaschine"; Anlage in Betrieb
Fiat, ICI u.a.; England	Projekt zur Rückgewinnung von Altautos (gefördert vom britischen Handels- und Industrieministerium)
Fiat, Lancia, Alfa Romeo, Italien	Demontagepilotanlage im Stammwerk Mirafiori
Jaguar, Universität Nottingham, England	Gemeinschaftsprojekt zur Untersuchung der Recyclingfähigkeit von Kunststoffen
Peugeot, Citroen, ICI; Enimont, Frankreich	Forschungsunternehmen RECAP (Recycling of Automobile Plastics); Untersuchungen zur Wiederverwertung von Polymeren aus Altfahrzeugen
VASSO, Schweiz, Liechtenstein	Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz u. des Fürstentums Liechtenstein: Flächendeckendes Netz von Sammelstellen und Verwertern in einigen Kantonen und in Liechtenstein

Bild 6.1: Trockenlegungszeiten in Abhängigkeit von den Pkw-Klassen [6.6]

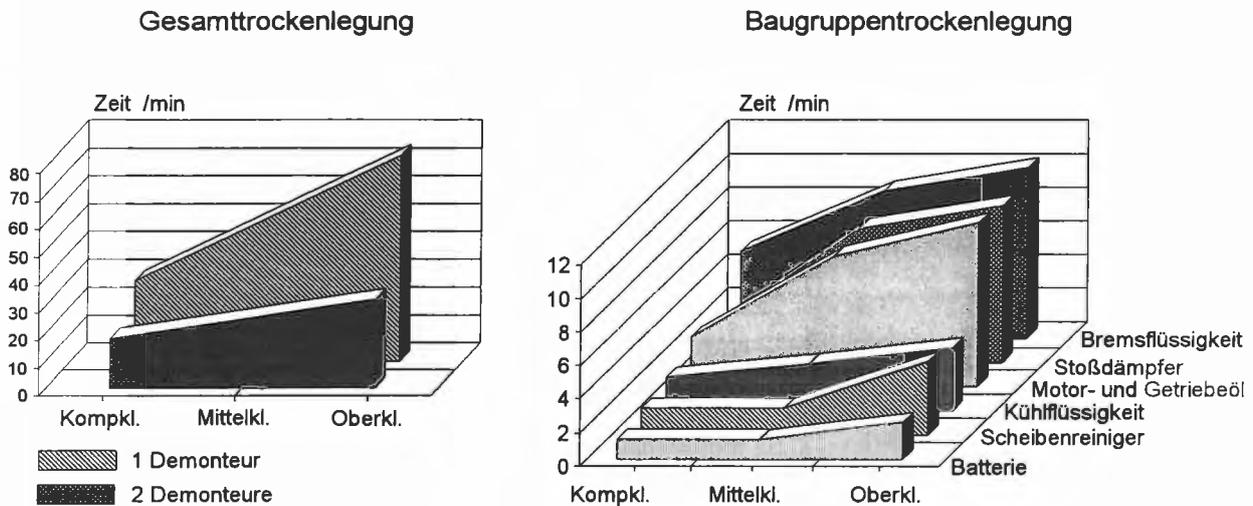
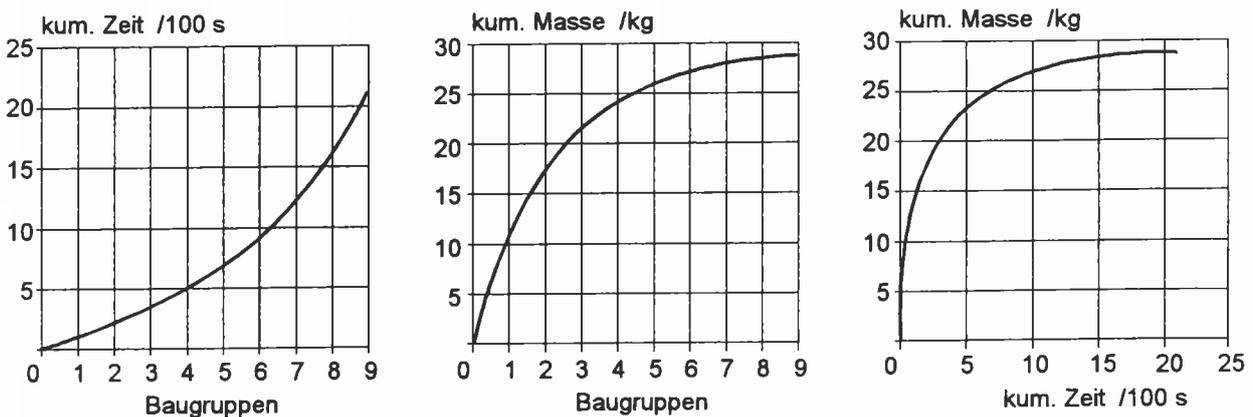
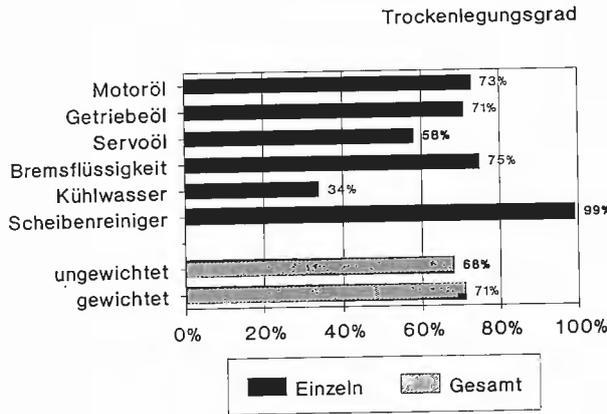


Bild 6.2: Trockenlegungsmassen und -zeiten (Kompaktklasse) [6.6]



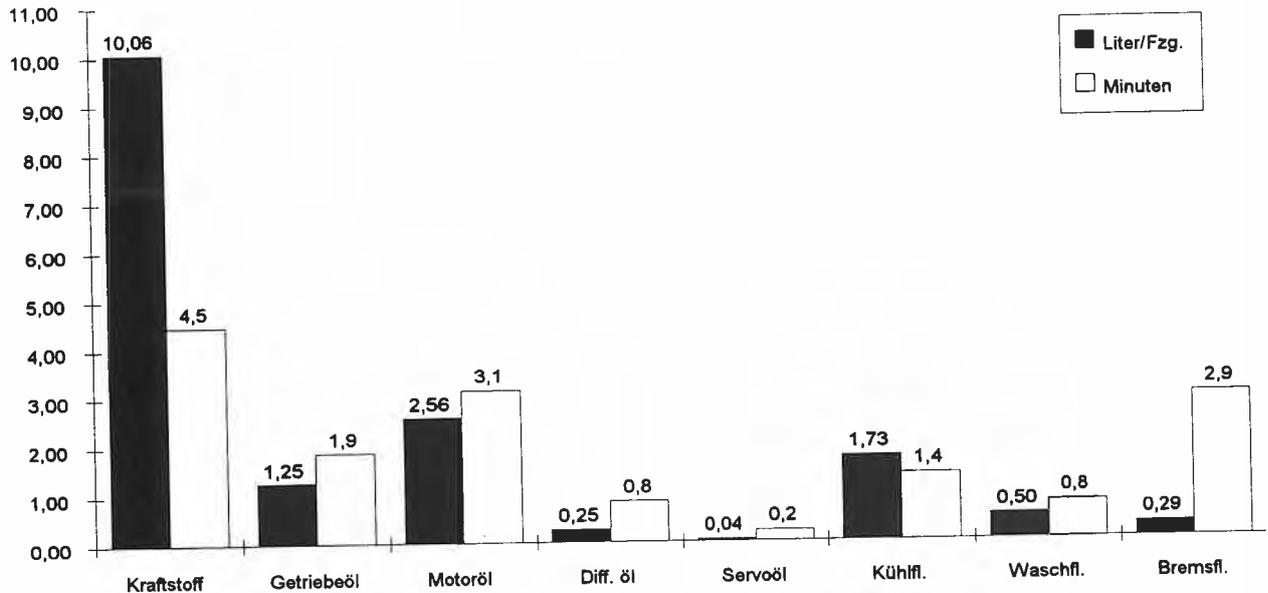
**Bild 6.3: Trockenlegungsgrad [6.6]**



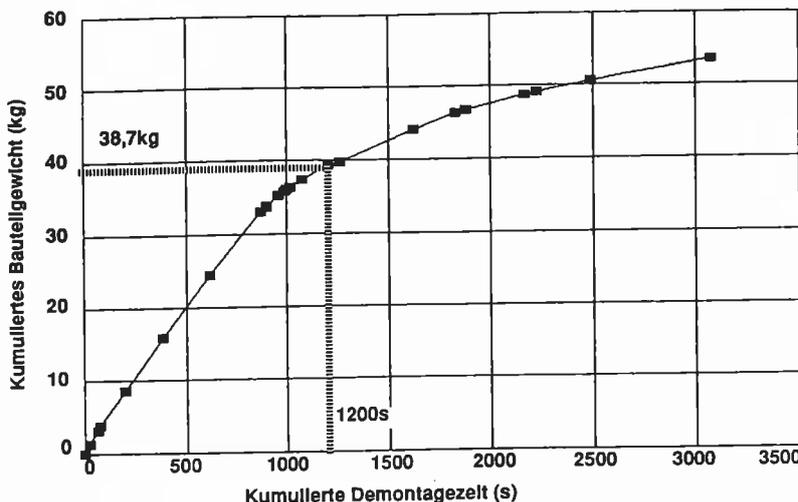
Pilotprojekt sollte die Umstellung der bislang herkömmlichen Ausschichtung zur Ersatzteilgewinnung hin zu einer weitergehenden Demontage der nichtmetallischen Werkstoffe erprobt werden. Weiterhin wurde die Rücknahme der gewonnenen Teile und Materialien durch Automobilhersteller und die Kunststoffindustrie organisiert.

Im Jahr 1991 wurde das Centrum Automobil-Recycling Saar (CARS) durch die Firmen SRP, Peugeot, den saarländischen Kraftfahrzeugverband und die regionale Innovationsberatungsstelle gegründet. In der ersten Ausbaustufe entstand eine Demontagestraße, (Fließprinzip ohne Fördersystem) in der die Fahrzeuge an mehreren Station bearbeitet werden. Der Weitertransport der Alttautos erfolgt manuell. Weitergehende Planungen sehen den Ausbau auf eine Kapazität von 200 Alttautos pro Tag vor [6.17].

**Bild 6.4: Entnahmezeiten und -mengen [6.7]**



**Bild 6.5: Zeit-Mengengerüst der Kunststoffdemontage (obere Mittelklasse, Baujahr 1983) [6.8]**



In Güstrow, Mecklenburg-Vorpommern, ist seit Mitte 1992 das Auto-Recycling-Center Güstrow in Betrieb. Jährlich werden in der Anlage ca. 5.000 Alttautos demontiert. Kooperationsverträge bestehen mit der EUR-HEKAR, der Adam Opel AG, der Speditionsfirma Mosolf und dem Auto-Center-Rostock. Eine Erhöhung des Durchsatzes auf 10.000 Alttautos pro Jahr ist vorgesehen [6.12].

#### 6.2.4 Übersicht der Aktivitäten und Demontageanlagen

In Tabelle 6.2 sind verschiedene Aktivitäten zum Automobilrecycling in der Bundesrepublik zusammengestellt. Versuchsanlagen der Automobilindustrie, die i. d. R. nur für werksinterne Untersuchungen dienen, wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Eine Auswahl von Projekten und Aktivitäten zur Altagoverwertung im Ausland ist in Tabelle 6.3 dargestellt.

### 6.3 Ausgewählte Ergebnisse von Demontageprojekten

In zahlreichen Projekten werden Untersuchungen hinsichtlich Demontage-technik, Werkzeugeinsatz, Logistik und der Verwertung von Teilen und Materialien vorgenommen. Zu den Ergebnissen liegen bislang nur Einzeldarstellungen vor. Beispielhaft werden nachfolgend einige Teilergebnisse von praktischen Untersuchungen zur Fahrzeugtrockenlegung und Demontage von Bauteilen dargestellt.

#### 6.3.1 Trockenlegung

Vom Institut für Kraftfahrwesen der Universität Hannover wurde die Trockenlegung verschiedener Pkws hinsichtlich der anwendbaren Techniken, der Trockenlegungsmengen und -zeiten sowie der benötigten Werkzeuge untersucht [6.6]. Die Ergebnisse basieren auf Versuchen, die mit über 70 Fahrzeugen der Kompakt-, Mittel- und Oberklasse durchgeführt wurden.

Die Trockenlegung der Fahrzeuge (Kompaktklasse) umfaßt die folgenden Betriebsflüssigkeiten und flüssigkeitstragenden Bauteile:

- Batterie
- Scheibenreinigungsflüssigkeit und Behälter
- Kühlwasser und -ausgleichsbehälter
- Stoßdämpfer
- Bremsflüssigkeit
- Räder (zur Zugänglichkeit von Stoßdämpfern und Bremssystem)
- Motor- und Getriebeöl/Aggregate
- Kraftstoff/Tank

In Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse steigen sowohl die Flüssigkeitsmengen als auch die Zahl der flüssigkeitstragenden Bauteile. Die Trockenlegung muß daher auch die folgenden Bauteile umfaßen:

- Servolenkung
- hydraulische Kupplungsbetätigung
- ABS
- Scheinwerferreinigungsanlage
- Hinterachsdifferential
- Zwischendifferential (Allrad-Antrieb)
- Automatikgetriebe
- Klimaanlage
- Niveauregulierung

In Bild 6.1 sind die Trockenlegungszeiten in Abhängigkeit von den Pkw-Klassen und der Anzahl der Demonteure dargestellt. Aus der Darstellung wird er-

**Tabelle 6.4: Demontagezeiten und -massen eines durchschnittlichen Altagos [Baujahr 72-78] [6.15]**

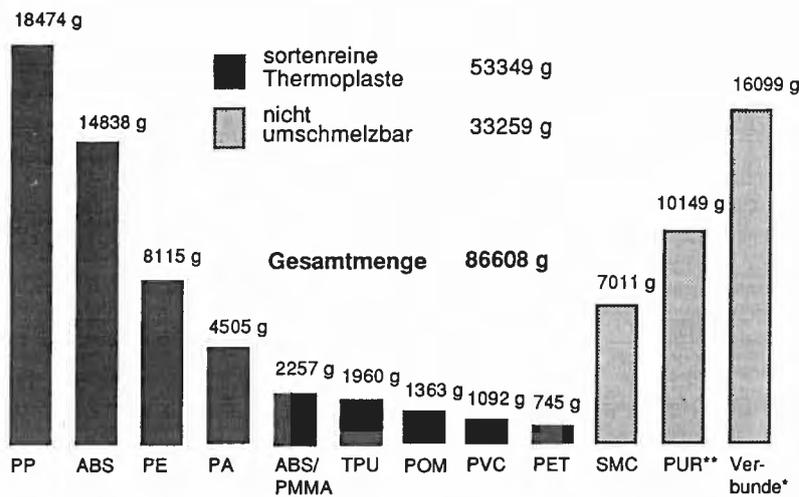
Block	Beschreibung	Demontagezeit [min]	Masse [kg]	Zeitblock [min]	Nicht effiziente Demontagezeit [min]
1	Windschutzscheibe	1,44	9,97	2,15	0,84
2	vorne rechts Vordersitz Türverkleidung Fensterscheibe Türdichtungen	5,26 2,28 1,78 2,53 1,74	2,06 12,52 1,87 3,99 1,28	15,58	2,00
3	Lenkrad vorne links Vordersitz Türverkleidung Fensterscheibe Türdichtungen	1,05 9,42 2,20 1,44 1,97 1,57	1,84 7,35 12,90 1,78 3,91 1,27	20,24	4,56
4	hinten links Fensterscheibe Türdichtungen	0,74 0,88 0,50	0,66 1,32 0,44	2,51	0,40
5	hinten rechts Fensterscheibe Türdichtungen	0,63 0,90 0,49	0,59 1,34 0,44	2,24	0,24
6	hinterer Innenraum	9,61	23,75	10,61	1,08
7	Innenraum Kabel	4,10 3,70	14,42 1,72	9,07	1,31
8	Kofferraum Kabel Kofferraum	2,73 1,32	8,97 0,40	4,68	0,81
9	Heckscheibe	1,24	7,40	1,39	0,33
10	äußere Fensterscheiben Kunststoffe, Ne- Metall usw.	0,80 13,43	3,72 8,35	15,85	1,78
11	Batterie Reserverad (vorne) Kunststoffbehälter Gummischläuche Lüftung und Lüftungsmotor Zündspule Regler Hupe Scheibenwischermotor und -gestänge Bremszylinder Motorkabel Heizung Räder Kunststoffe, Ne- Metall	0,40 0,02 1,34 3,38 1,42 1,04 0,50 0,73 2,33 3,20 3,80 3,68 2,14 1,73	9,82 1,90 0,65 1,37 4,22 0,71 0,21 0,51 1,82 1,20 2,00 4,99 45,80 0,70	32,68	6,94
12	Motor, Unterboden	17,30	275,10	20,07	2,79
	Summe	116,76	485,26	137,07	23,08

sichtlich, daß die Trockenlegungszeit mit der Fahrzeuggröße steigt. Der Einsatz von zwei Demonteuren erweist sich vor allem bei Fahrzeugen höherer Klassen als effizient.

Ein Diagramm der Trockenlegungsmassen und -zeiten am Beispiel eines Fahrzeuges der Kompaktklasse ist in Bild 6.2 dargestellt.

Die zur Flüssigkeitsentnahme angewandten Techni-

**Bild 6.6: Werkstoffanteile der ausgebauten Kunststoffbauteile (obere Mittelklasse, Baujahr 1983) [6.8]**



ken werden maßgeblich davon bestimmt, ob eine Weiter- oder Wiederverwendung der flüssigkeitstragenden Bauteile vorgesehen ist. In diesem Fall können zeitsparende zerstörende Entnahmetechniken, z. B. das Anstechen der Ölwanne, nicht praktiziert werden.

Der Grad der Trockenlegung ist abhängig von der:

**Tabelle 6.5: In 20 Minuten demontierte Kunststoffteile (obere Mittelklasse, Baujahr 1983) [6.8]**

Nr. Bauteil	Werkstoffe	Gewicht (g)	Ausbauzeit Demontage und Zerlegung (s)
1 Stoßfänger	PP+EPDM, ABS, SMC	8581	255
2 Stoßleisten	TPU	1960	130
3 Radkappen	PA	1880	40
4 Scheinwerferwaschwasserbehälter	PE	584	30
5 Scheibenwischerwasserbehälter	PE	289	15
6 Radhauschalen	PP	1488	60
7 Türverkleidungen	ABS-Verb., PP	8578	231
8 Sicherheitsgurte	PET	745	25
9 Reserveradmulden	SMC	4775	120
10 Luftfiltergehäuse	PP	1312	20
11 Kühlwasserausgleichsbehälter	PP	654	15
12 Bremsflüssigkeitsbehälter	PP	194	10
13 Hydraulikölbehälter	PA	441	60
14 Federdomabdeckungen	PE	58	2
15 Kraftstoffbehälter	PE	7184	190

- Art der Flüssigkeitsentnahme
- Ausbauquote flüssigkeitstragender Bauteile
- Viskosität der zu entnehmenden Flüssigkeiten

Der Trockenlegungsgrad spiegelt die ökologische Qualität der Flüssigkeitsentnahme wieder. Je vollständiger die Trockenlegung, um so geringer ist die Schadstoffbehaftung der Reststoffe (Shredderrückstände).

Die im Rahmen der Untersuchung ermittelten durchschnittlichen Trockenlegungsgrade sind im Bild 6.3 dargestellt. Der volumenbezogene Gesamttrockenlegungsgrad betrug 68 %, wobei sich für die unterschiedlichen Fahrzeugklassen keine signifikanten Unterschiede ergaben. Der gewichtete Trockenlegungsgrad, bei dem die Gefährdungsfaktoren der einzelnen Betriebsflüssigkeiten be-

rücksichtigt wurden, lag bei 71 %.

Ergebnisse zur Trockenlegung von Altfahrzeugen liegen auch aus der Demontageanlage der Fa. ALBA in Berlin vor. Dort wurden durchschnittliche Gesamttrockenlegungszeiten von 32 Minuten pro Altfahrzeug ermittelt. Rund 50 % dieser Zeit entfielen auf die Rüstzeiten, d. h. Fahrzeug anheben, Werkzeug wechseln usw.

Die Entnahme der Flüssigkeiten erfolgt mit Hilfe von:

- Ölsauger,
- Tankbohrer mit/ohne pneumatischer Pumpe,
- pneumatischem Anstechdorn,
- Bremsflüssigkeitsentnahmegesetz und
- Auffangwannen.

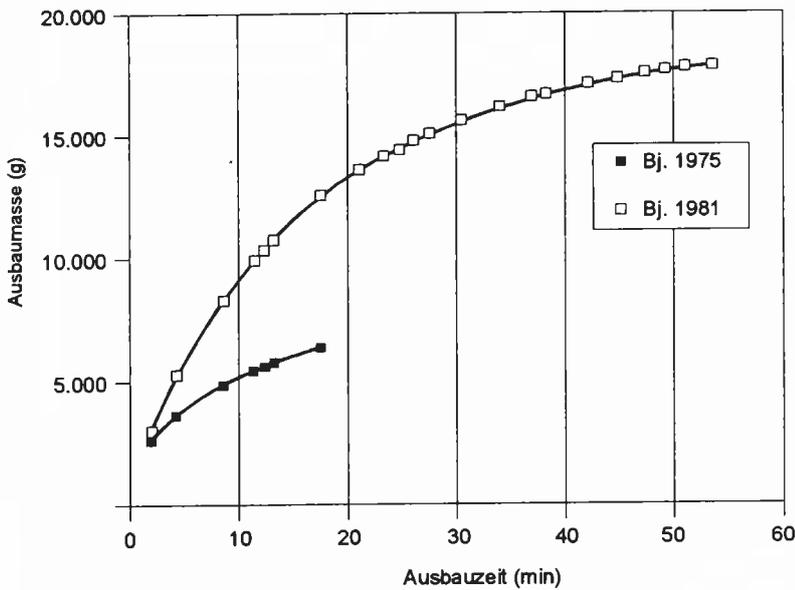
Die durchschnittliche Flüssigkeitsmenge pro Altfahrzeug wurde mit 17 l ermittelt [6.7]. Die Flüssigkeitsmengen und Entnahmezeiten sind in Bild 6.4 dargestellt.

### 6.3.2 Demontage

Im Rahmen des Modellversuchs an der Universität Twente wurden insgesamt 50 Fahrzeuge zerlegt und die erforderlichen Demontagezeiten sowie die Massen der demontierten Bauteile ermittelt. Für die komplette Demontage der Fahrzeuge (ohne Trockenlegung) wurden durchschnittlich 137 Minuten benötigt (s. Tabelle 6.4). Rund 20 Minuten entfielen dabei auf nicht effiziente Tätigkeiten, d. h. Werkzeugwechsel, Ein- und Aussteigen sowie das Herumlaufen um das Fahrzeug [6.15].

Grundsätzlich konnte bei den Versuchen festgestellt werden, daß zerstörende Methoden der Demontage keine Vorteile gegenüber den zerstörungsfreien Trennverfahren erbrachten. Durch scharfe Kanten, die z. B.

**Bild 6.7: Zeit/Mengendiagramm der Kunststoffdemontage aus einem Mittelklasse-Pkw [6.2]**



Oberklasse aus den Baujahren 1983–1989 untersucht.

Für die Altfahrzeugverwertung wurde ein zukünftiger verwertbarer Kunststoffmengenstrom von 30.000 Mg pro Million Altfahrzeug errechnet. Für die anfallenden Kunststofffraktionen wurde die folgende Verteilung ermittelt:

Polyolefine (PP, PE)	60 %
sonstige Thermoplaste	35 %
Duroplaste (SMC)	5 %

Die Bewertung der gewonnenen Ergebnisse zeigte, daß der Demontageaufwand den größten Anteil am Gesamtaufwand zur Erzeugung von Recyclaten aus Altfahrzeug-Kunststoffteilen darstellen wird. Exemplarisch sind nachfolgend die Ergebnisse der Demontage eines Pkws der oberen Mittelklasse Baujahr 1983 dargestellt. In Bild 6.5 ist das Zeit/Mengengerüst der Kunststoffdemontage an einem Pkw der oberen Mittelklasse, Baujahr 1983, dargestellt.

beim Herausschneiden von Materialien entstanden, bestand zum einen eine hohe Verletzungsgefahr und zum anderen stieg teilweise der Zeitbedarf für die weiteren Arbeiten, da die Demonteure mit größerer Vorsicht zu Werke gingen.

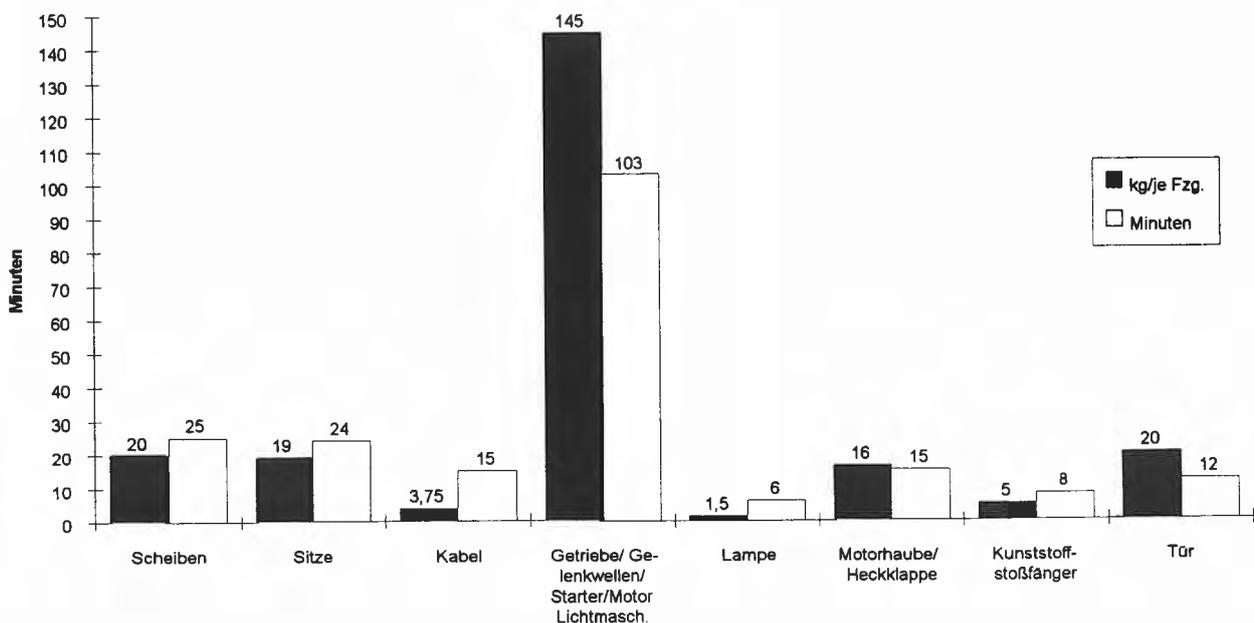
In einer von der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) in Auftrag gegebenen Untersuchung zur Demontage und Verwertung von Kunststoffbauteilen wurden stückzahlstarke Fahrzeugtypen demontiert, um eine Datenbasis der zu erwartenden Mengenströme an Kunststoffbauteilen zu ermitteln [6.8]. Dazu wurde jeweils ein Fahrzeug der Kleinwagenklasse, der unteren und oberen Mittelklasse und der

Aus dem Fahrzeug (obere Mittelklasse) konnten innerhalb von 20 Minuten 38,7 kg verwertbare Kunststoffe ausgebaut werden. Diese stellen 45 % der gesamten demontierten Kunststoffe (86,6 kg), bzw. 64 % der demontierbaren und wiederverwendbaren Kunststoffmenge (60,3 kg) dar. Tabelle 6.5 gibt die in 20 Minuten demontierten Teile, den jeweiligen Werkstoff, das Gewicht und die Ausbauezeit wieder [6.8].

Bild 6.6 zeigt die Werkstoffanteile aller demontierten Kunststoffbauteile. Als gut verwertbar wurde der sortenreine Thermoplastanteil mit ca. 60 % am demontierten Gesamtkunststoffanteil eingeschätzt.

Ein im Rahmen des PRAVDA-Projektes aufgenom-

**Bild 6.8: Demontagezeiten verschiedener Bauteile und deren Massen [6.7]**



menes Zeit-/Mengendiagramm der Kunststoffdemontage am Beispiel eines Modellwechsels verdeutlicht die zu erwartenden unterschiedlichen Ergebnisse der Demontage. Gründe dafür sind die Vielzahl der einfließenden Variablen (Fahrzeugtyp, Klasse, Alter, Demontagetechnik, Personaleinsatz u. v. a.). Bild 6.7 zeigt das Zeit/Mengenverhältnis der Kunststoffdemontage bei einem Mittelklasse Pkw.

In der Demontageanlage der Firma ALBA in Berlin wurden für verschiedene Bauteile die Demontagezei-

ten ermittelt. Bild 6.8 gibt die ermittelten Demontagezeiten der Bauteile und deren Gewichte wieder [6.7].

Die Auswertung der Demontagetätigkeiten des ersten Betriebsquartals ergaben eine durchschnittliche Demontagezeit von 253 Minuten pro Fahrzeug. Hierbei ist zu bemerken, daß diese Ergebnisse aus den ersten Pilotdemontagen stammen und zur Gewinnung von empirischen Daten dienen. Eine Optimierung der Vorgangsdauer soll innerhalb des Versuchszeitraums von 1,5 Jahren erfolgen.

## 7. Kostenbetrachtung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden verschiedene Konzepte der Autodemontage hinsichtlich der Demontagetechnik, der Demontagetiefe, der Logistik sowie weiterer technischer Randbedingungen beschrieben. Diese Anlagenkonzepte unterscheiden sich i.d.R. in der angestrebten Demontagetiefe und dem geplanten Durchsatz, so daß auch im Hinblick auf die spezifischen Demontagekosten Unterschiede zu erwarten sind.

Detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalysen sowohl für typenoffene als auch typengebundene Altauto-Demontageanlagen liegen bislang nicht vor. Im Rahmen von Demontageversuchen sowie der Erstellung von Konzepten wurden seitens der Automobilindustrie und verschiedenen Anlagenbetreibern Demontagekosten zwischen 200 bis 450 DM kalkuliert, z. T. werden jedoch auch höhere Beträge genannt. In Bild 7.1 sind die von verschiedenen Unternehmen genannten Demontagekosten pro Altauto dargestellt.

### 7.1 Beispielhafte Kostenbetrachtung einer Demontageanlage

Im folgenden wird eine vereinfachte Betrachtung der Demontagekosten anhand der erforderlichen Investitions- und Betriebskosten beispielhaft dargestellt.

Die Ermittlung der aufgeführten Daten erfolgte unter Annahme der aktuell geltenden wirtschaftlichen Bedingungen. Künftige Entwicklungstrends wurden sowohl auf der Kosten- wie auf der Ertragsseite nicht antizipiert.

#### 7.1.1 Investitionsplan

Grundlage der Betrachtung stellt eine Demontageanlage mit einem Durchsatz von 15.000 Altautos pro Jahr – dies entspricht einem täglichen Durchsatz von 60 Fahrzeugen – dar. Die Mitarbeiterzahl der zwei-

schichtig arbeitenden Anlage nach dem Inselprinzip beträgt ca. 50 Personen (incl. Verwaltung und Ersatzteilvermarktung). Die Demotagedauer wurde mit durchschnittlich 180 min pro Fahrzeug kalkuliert. Die Grundstücksfläche der Anlage wurde mit 10.000 m angenommen, von denen 1.000 m auf die Demontagehalle, 250 m auf das Vorbehandlungsgebäude und 500 m auf das Ersatzteillager entfallen [7.2].

In der Tabelle 7.1 sind die erforderlichen Investitionen zur Errichtung einer Altautodemontageanlage zusammengestellt. Die Investitionskosten wurden dabei in die Bereiche Bauteil u. Haustechnik sowie Technische Ausrüstung unterteilt.

Weitere Kosten fallen an für den Erwerb eines Grundstückes sowie Planungsleistungen, Gutachten, Genehmigungsgebühren usw. Für diese Positionen wurden insgesamt 1,4 Mio. DM veranschlagt, so daß sich die Gesamtinvestitionssumme für eine Demontageanlage mit den genannten Eckdaten auf ca. 7,1 Mio. DM beläuft.

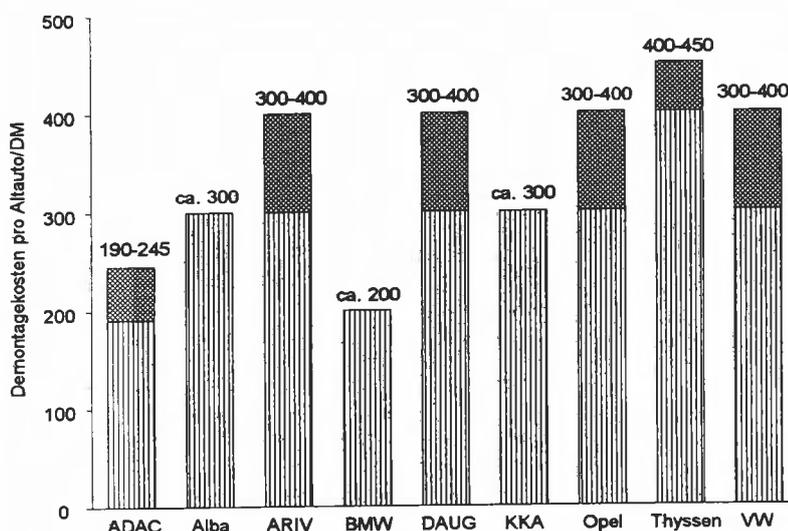
#### 7.1.2 Betriebskosten

In den jährlichen Betriebskosten werden kapitalabhängige Kosten und die allgemeinen Kosten getrennt berechnet. Summenpositionen der Betriebskostenbetrachtung sind:

- kapitalabhängige Kosten
- Wartung und Reparatur
- Energiekosten
- Hilfs- und Betriebsstoffe
- Personal- und Lohnnebenkosten
- Allgemeine Verwaltungskosten

Die Summe der kapitalabhängigen Betriebskosten beinhaltet neben der Annuität (Tilgung und Zinsen) auch Versicherung, Steuern und die Abschreibung der Investitionen. Als Kapitalbindungszeitraum wurden 10 Jahre angesetzt, die Kapitalverzinsung beträgt 10 %.

Bild 7.1: Demontagekosten [7.1]



Wartungs- und Reparaturkosten wurden prozentual von den Investitionen ermittelt, Aufwendungen für Energie sowie Hilfs- und Betriebsstoffe pauschal angesetzt. Treibstoffkosten für die Betriebsfahrzeuge wurden nicht berücksichtigt, da die Kraftstoffe aus den Altautos genutzt werden können.

Die Berechnung der Personalkosten basiert auf einer Personalbedarfsrechnung für einen zweischichtigen Betrieb der Anlage. Der ermittelte Personalbedarf beinhaltet auch die Bereiche Verwaltung sowie Ersatzteillagerung und -verkauf. Die Personalkosten gehen als Bruttoarbeitslohn zzgl. 25 % Lohnnebenkosten in die Berechnung ein.

**Tabelle 7.1: Beispielhafter Investitionsplan einer Demontageanlage**

Bauteil	Investitionsbedarf (DM)
Demontagehalle, Vorbehandlungsgebäude, Ersatzteil-Lager	1.400.000
Verkehrswege und Lagerbereiche (incl. Bodenabdichtung)	850.000
Be- und Entwässerung (incl. Erdarbeiten)	700.000
Haustechnik (Heizung, Lüftung, Sanitär, Elektro, Druckluft)	750.000
Sonstiges	200.000
<b>Summe Bauteil</b>	<b>3.800.000</b>
<b>Technische Ausrüstung</b>	
Hebebühnen	100.000
Ersatzteil-Lager	140.000
Regalcontainer-Anlage	70.000
Werkzeuge, Hilfsmittel, Sammelbehälter und Container	350.000
EDV-Anlage (Hard- und Software)	200.000
Flachbettpresse, Kunststoffmühle	400.000
Fahrzeuge (Gabelstapler und Abschleppwagen)	360.000
Sonstiges	180.000
<b>Summe Techn. Ausrüstung</b>	<b>1.900.000</b>
<b>Gesamt</b>	<b>5.700.000</b>

Die allgemeinen Verwaltungskosten wurden in prozentualer Abhängigkeit von den Personalkosten und den sonstigen Betriebskosten berechnet.

Der jährliche Entsorgungsaufwand für die im Rahmen der Demontage anfallenden Abfallstoffe, wurde als Mischkalkulation für die Entsorgung von hausmüllähnlichem Gewerbeabfall und Sonderabfällen durchgeführt.

Die Betriebskosten der Demontageanlage belaufen sich somit auf 5.135.300 DM. In Tabelle 7.2 sind die Einzelpositionen zusammengefaßt dargestellt

Bezogen auf den Durchsatz der Anlage von 15.000 Altautos pro Jahr ergeben sich somit spezifische Kosten in Höhe von rund 350 DM pro Altfahrzeug.

Bei einem angenommenen durchschnittlichen Erlös aus dem Ersatzteilverkauf in Höhe von 100 DM und Wertstoff Erlösen von 75 DM pro Altauto würde die erforderliche Entsorgungsgebühr im Minimum 175 DM betragen.

**Tabelle 7.2: Zusammenfassende Darstellung der jährlichen Betriebskosten**

Einzelpositionen	DM
Kapitalabhängige Kosten	1.822.300,-
Wartung und Reparatur	175.000,-
Energie, Betriebs- und Hilfsstoffe	80.000,-
Entsorgung	250.000,-
Personal	2.602.500,-
Verwaltung	205.500,-
<b>Summe</b>	<b>5.135.300,-</b>

## 7.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des ARIV

Im Rahmen des Projektes Automobilrecycling im Verbund (ARIV) wurde die Wirtschaftlichkeit des Verbundes betrachtet. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit des Automobil-Recyclings wurden die Kosten bzw. Erlöse der Demontage, Verwertung und Entsorgung der Materialien sowie der Logistik ermittelt. Unter Berücksichtigung der in den unterschiedlichen Bereichen zu erwartenden Preissteigerungen wurde ein Szenario für die Wirtschaftlichkeit dargestellt. Im Rahmen dieses Szenarios wurden die Verwertungs- und Entsorgungskosten bzw. -erlöse ebenso wie die Logistikkosten auf den Demontagebetrieb umgelegt.

Im Ergebnis kommt die Untersuchung ebenfalls zu dem Schluß, daß die Kosten einer flächendeckenden, umfangreichen und qualitativ hochwertigen Verwertung derzeit nicht durch die Erlöse aus dem Verkauf von Ersatzteilen und Wertstoffen gedeckt werden können und unter Anwendung vorhandener Technologien eine Unterdeckung von 300–400 DM pro Altauto verbleibt [7.3].

Die im Rahmen des Projektes ermittelten spezifischen Betriebsergebnisse (für drei Demontageanlagen unterschiedlicher Durchsatzleistungen) sind in der Tabelle 7.3 dargestellt.

## 7.3 Modelle zur Erhebung der Entsorgungsgebühr

Erfahrungsgemäß ist der Letztbesitzer eines Autos finanziell meist schwächer gestellt als der Neuwagenkäufer. Die Erhebung einer Entsorgungsgebühr würde daher unmittelbar zu einer vermehrten unkontrollierten Entsorgung von Altfahrzeugen (wildes Abstellen) bzw. erhöhten Abfallexporten in das benachbarte Ausland führen. Die im Entwurf vorliegende Altautoverordnung berücksichtigt diese Bedenken. Als wesentlichen Bestandteil der Verordnung ist daher die Forderung nach einer grundsätzlich kostenlos Rücknahme der Altautos enthalten. Den betroffenen Industrien wird jedoch freigestellt, die Entsorgungskosten über den Neuwagenverkauf zu erheben.

Für die derzeit in Betrieb befindlichen Fahrzeuge – ca. 40 Mio. Fahrzeuge – wird die Rücknahme jedoch nicht kostenlos sein, da sich die Verordnung in diesem Punkt, nur auf jene Fahrzeuge bezieht, die nach Verabschiedung der Verordnung zugelassenen wurden.

**Tabelle 7.3: Spezifische Betriebsergebnisse von drei Demontageanlagen unterschiedlicher Durchsatzleistung [7.7]**

		1-Schicht 20 PKW/Tag	2-Schicht* 40 PKW/Tag	2-Schicht*** 100 PKW/Tag
Ausrichtung der Demontage		material und -ersatzteilorientiert		vorwiegend ersatzteilorientiert
Investitionen	(DM in Mio)	ca. 5,9	ca. 7,2	ca. 10,5 -12,5
Grundstückgröße	(m <sup>2</sup> )	8.260	10.704	15 - 20.000
Personalbedarf	(Pers.)	24	40	~ 50
Gesamtkosten des Demontagebetriebes pro PKW	(DM)	907**	660**	~ 600
Erlöse für Ersatzteile und Werkstoffe pro PKW	(DM)	254**	254**	200-270
<b>Betriebsergebnis pro PKW</b>	(DM)	<b>653</b>	<b>406**</b>	<b>330-400</b>

\* Details siehe ARIV-Bericht

\*\* Durchschnitt 1992-2002

\*\*\* erste, noch nicht abgesicherte Näherungswerte; geringerer Umfang

Hinsichtlich einer grundsätzlich kostenlosen Abnahme des Altautos werden jedoch vielerorts Bedenken geäußert. Der ADAC fordert deshalb, daß der Restwert eines Altfahrzeuges ermittelt und mit den Entsorgungskosten gegengerechnet werden sollte. Somit könne gewährleistet werden, daß nur derjenige, der eine halbdemontierte „Rostlaube“ abgeben möchte, leer ausgeht [7.5].

Von Seiten der Automobilindustrie wird befürchtet, daß die Verpflichtung zu einer kostenlosen Rücknahme von Altfahrzeugen den Wettbewerb bei der Autoverwertung einengen und die durch technischen und organisatorischen Fortschritt erzielten Kostenvorteile nicht ausgeschöpft werden können. Die vom Letztbesitzer bei Übergabe des Fahrzeuges erzielte Vergütung oder der zu entrichtende Entsorgungspreis beeinflussen über den Gebrauchtwagenpreis auch den Wettbewerb auf dem Neuwagenmarkt. Da dieser Beitrag auch von den Wiederverwertungsmöglichkeiten des jeweiligen Modells abhängig ist, werden so die Anstrengungen der Automobilhersteller zum recyclingfreundlichen Konstruieren vom Markt honoriert.

Somit trägt die freie Preisbildung, nach Meinung der Automobilindustrie, zur Durchsetzung umweltfreundlicher und wirtschaftlicher Recyclingverfahren bei. Für die Autoverwertungsbetriebe entsteht über die bei knapper werdendem Deponieraum ansteigenden Deponiekosten zudem ein Anreiz, möglichst viele Materialien einer Wiederverwertung zuzuführen [7.6].

Das die Altautos größtenteils einen hohen Restwert besitzen, beweist nach Meinung der Automobilindu-

strie auch die Tatsache, daß rund 50 % der Fahrzeuge vordemontiert werden, bevor sie in den Shredder gelangen [7.4].

Für verschiedene Fahrzeugmodelle wurde von den Automobilherstellern bereits eine kostenlose Rücknahmegarantie ausgesprochen. Unbestritten ist jedoch, daß durch eine umfassende Altautoverwertung zusätzliche Kosten entstehen. Zur Zeit fehlen jedoch klare Konzepte, wie diese Kostenlast verteilt werden soll. Grundsätzlich bieten sich drei verschiedene Alternativen zur Erhebung des Entsorgungsbeitrages an.

### Freie Preisbildung

Der Letztbesitzer liefert das Altauto bei einem lizenzierten Autoverwerter, Schrotthandels-Unternehmen oder Shredderbetreiber ab. Dieser schätzt den Material- und Teilwert des Fahrzeuges und rechnet die Behandlungskosten gegen, so daß dem Letztbesitzer der verbleibende Restbetrag entweder ausbezahlt oder in Rechnung gestellt wird. Dem Letztbesitzer wird im Gegenzug eine Entsorgungsbescheinigung ausgehändigt.

Erst nach Vorlage dieser Bescheinigung bei der zuständigen Zulassungsbehörde, kann der Besitzer sein Fahrzeug abmelden. Solange das Fahrzeug angemeldet ist, laufen die Kosten für Versicherung und Steuer weiter. Somit kann der Gefahr eines unbefugten Abstellens von Altfahrzeugen in Wald, Feld und Flur vorgebeugt werden.

### Erhebung über den Neufahrzeugpreis

Gemäß der Altautoverordnung, hat der Letztbesitzer bei der Abgabe seines Altautos die Entsorgungsgebühr nicht zu tragen. Dementsprechend ist die Gebühr auf den Kaufpreis eines Neuwagens aufzuschlagen oder bei der Erstzulassung zu entrichten.

Die eingenommenen Gelder sollen dann in einen sogenannten Verschrottungsfond fließen, aus dem, wie bei einem Rentenfond, die Entsorgungsgebühr an den Verwertungsbetrieb ausgezahlt wird.

### Pauschaler Entsorgungsbetrag

Um mögliche Übervorteilungen zu vermeiden, könnte ein pauschaler Fahrzeugentsorgungsbeitrag erhoben werden der ebenfalls in einen Verschrottungsfond fließt. Hierbei würden alle Gruppen von Autofahrern gleichermaßen belastet. Einseitige Verschiebungen hin zu den Letzt- oder Neufahrzeugbesitzern wären somit entbehrlich. Der entsprechende Betrag könnte z. B. auf die Fahrzeugsteuer aufgeschlagen werden und würde somit jährlich erhoben.

Eine Finanzierung der Altautoverwertung über Steuern und Abgaben wird in Schweden und Norwegen bereits seit einigen Jahren praktiziert. In der Schweiz und den Niederlanden sind ebenfalls staatliche Regelungen der Altautoverwertung verbunden mit einer Abnahmegebühr bzw. einer Steuer vorgesehen.

## 8. Metallurgisches Recycling

Neben der umfangreichen Demontage von Altfahrzeugen mit den bekannten Absatzproblemen für die verschiedenen Sekundärprodukte wird ein alternatives Verfahren vorgestellt, das auf einen Einsatz von Shredderanlagen verzichtet. Dabei handelt es sich um ein Konzept der Mercedes Benz AG und Voest Alpine AG zum metallurgischen Recycling.

Eine Demontage von Altfahrzeugen ist nur solange sinnvoll, wie Produkte gewonnen werden, die dem direkten Wiedereinsatz, dem stofflichen Recycling bzw. einer Sekundäranwendung zugänglich gemacht werden können. Sind entsprechende Wege auch langfristig nicht oder nur unvollständig begehbar, fallen weiterhin schwer zu entsorgende Abfälle an, die es zu vermeiden gilt.

Unter Berücksichtigung eines erhöhten Anteils von Nichtmetallen in den Fahrzeugen und einer Steigerung der Altfahrzeugmenge innerhalb der nächsten 10 Jahre kann nach Meinung der Mercedes Benz AG die derzeit anfallende Shredderabfallmenge von 400.000 Mg/a nur dann reduziert werden, wenn es gelingt, die Recyclingquoten deutlich zu erhöhen [8.1]. Dies wird jedoch von Seiten der Mercedes Benz AG in Frage gestellt und dementsprechend ein alternatives Verfahren präferiert.

Das Konzept beinhaltet ebenfalls eine Vordemontage der Altfahrzeuge, bei der jedoch nur Störstoffe bzw. leicht entfernbare Wertstoffe aus der Karosserie ausgebaut werden sollen. Anschließend wird die vordemontierte Karosserie mit erheblichen Nichtmetallanteilen einem Schmelzaggregat zugeführt. Auf diese Weise hofft man, das stofflich nicht verwertbare Reststoffaufkommen in Form von brennbaren Kunststoffen u. ä. ohne Umweg über eine Sonderabfallverbrennungsanlage energetisch nutzen zu können.

### 8.1 Vordemontage der Altfahrzeuge

Die Vordemontage der Altfahrzeuge dient neben einer Entfernung von Störstoffen vor allem der getrennten Erfassung leicht zugänglicher und gut verwertbarer Komponenten des Altfahrzeuges.

Als erster Schritt erfolgt die Trockenlegung des Fahrzeuges. Das Entfernen der Betriebsstoffe ist für die Sicherheit der nachfolgenden Verwertungsschritte unbedingt erforderlich.

Im Anschluß sollen Bauteile demontiert werden, deren Ausbau „aus technischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll ist“ [8.1]. Dies sind: Motor, Anlasser, Getriebe, Kühler, Batterie, Katalysator sowie sortenrein gekennzeichnete und leicht demontierbare Kunststoffe.

Zu den Störstoffen, die vor dem Schmelzprozeß aus dem Fahrzeug entfernt werden müssen, zählen neben den Betriebsflüssigkeiten vor allem die Metalle Kupfer und Zink. Diese Metalle, die einen hohen Siede-

punkt aufweisen und nur schwer aus der Schmelze entfernt werden können, verhindern schon in geringen Konzentrationen die Herstellung von qualitativ hochwertigen Edelstählen. Bei Anwesenheit von Kupfer und Zink ist so oft nur ein Einsatz als minderwertiger Baustahl möglich. Da diese Metalle vor allem in der Elektrik und Elektronik des Fahrzeuges enthalten sind, kann durch eine gezielte Demontage der Elektrokomponenten der Kupfer- und Zinkgehalt der Restkarosserie so weit abgesenkt werden, daß diese den weiteren Prozeß nicht negativ beeinflussen.

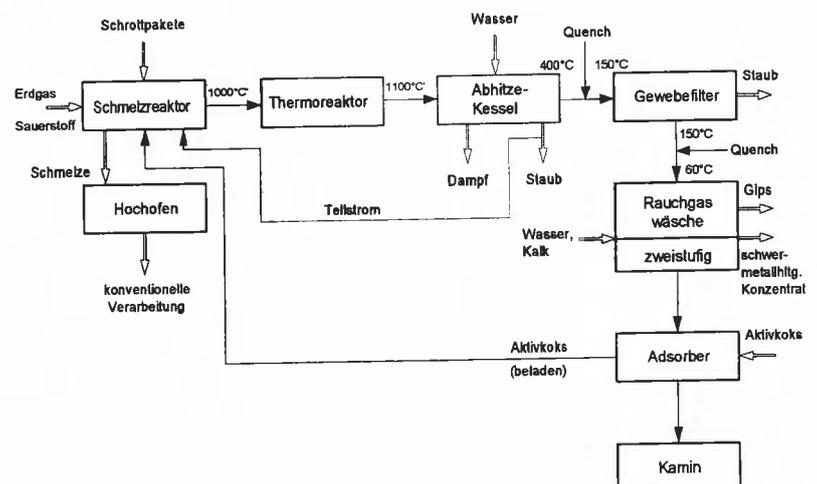
Nach erfolgter Teildemontage wird das Fahrzeug mit Hilfe einer Paktierschere in chargierfähige Schrottpakete zerteilt und dem Schmelzaggregat zugeführt.

### 8.2 Schmelzaggregat

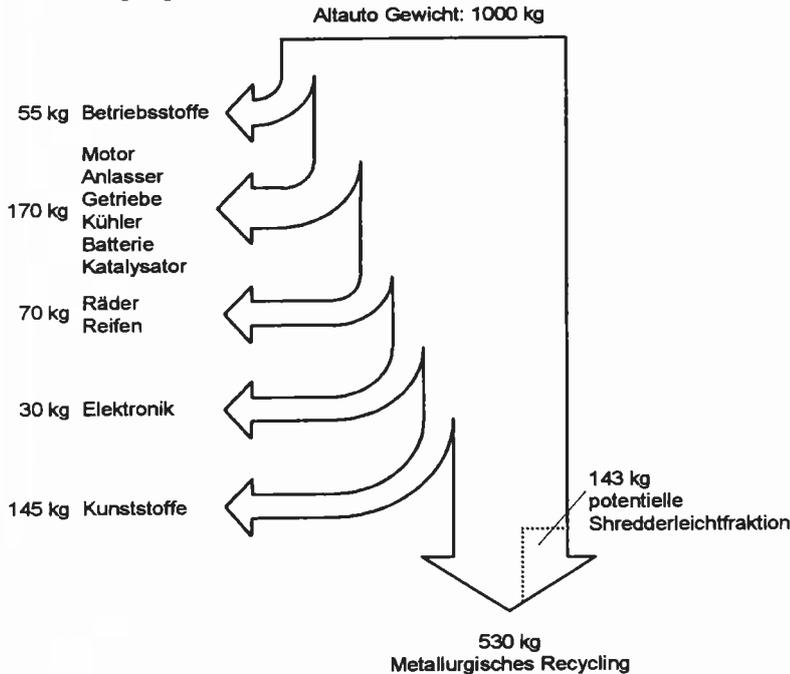
Das eigentliche Schmelzaggregat, ein kontinuierlich betriebener Schachtofen, wurde von Voest Alpine in Zusammenarbeit mit Mercedes Benz entwickelt, um auch beschichtete Bleche (z. B. lackiert oder verzinkt) einer hochwertigen stofflichen Verwertung als Qualitätsstahl zuführen zu können. Bei den bisherigen Verfahren, in denen beschichtete Bleche – also auch das Shredderprodukt – eingesetzt wurden, konnten diese lediglich zu minderwertigen Baustählen verarbeitet werden. Hier waren vor allem das Zink der feuerverzinkten Karossen sowie Kupfer und Zinn der Fahrzeugelektronik das eigentliche Problem. Hinzu kamen, aufgrund der organischen Bestandteile (Lacke aber auch Kunststoffteile und Folien), z. T. erhebliche Immissionsprobleme.

Daher wurde das Schmelzaggregat als Vorschmelze ausgelegt und mit einer modernen Rauchgasreinigung ausgerüstet. Auf diese Weise sind evtl. enthaltene bzw. anhaftende Kunststoffe keine Störstoffe mehr, sondern erwünschte Beimengungen, die den Energiebedarf des Aufschmelzens herabsetzen. Technikversuche haben ergeben, daß der Energiebedarf gegenüber einer herkömmlichen Schmelze um 30 bis 40 % herabgesetzt wird.

Bild 8.1: Geplanter Ablauf des metallurgischen Recyclings



**Bild 8.2: Darstellung der Massenströme beider Vordemontage [8.3]**



Das Schmelzaggregat kann demnach auch verunreinigten bzw. beschichteten Schrott unterschiedlicher Zusammensetzung verarbeiten. Es eignet sich nicht nur für vordemontierte Altfahrzeuge sondern beispielsweise auch für Kühlschrankschrott und ölverunreinigte Drehspäne. Sollen Qualitätsstähle hergestellt werden, ist allerdings ein zusätzlicher Roheiseinsatz zum Verschneiden der Schrottfraktion erforderlich. Bedingt durch die Grundkonzeption des Verfahrens als Vorschmelzaggregat ist lediglich ein Einsatz an einem bereits bestehenden Hochofenstandort möglich.

Als möglicher Standort wurde die Neue Maxhütte im bayerischen Sulzbach-Rosenberg (Oberpfalz) geprüft. Eine Betreibergesellschaft – die M.A.R.S. GmbH (Metallurgische-Auto-Recycling Sulzbach Rosenberg) – wurde dazu gegründet.

Die Investitionskosten für eine Anlage mit einem Durchsatz von ca. 80.000 Altautos im Jahr werden mit ca. 40–70 Mio. DM angegeben [8.4].

Die mit diesem Projekt verbundenen logistischen Probleme der Altautoanlieferung sowie die wirtschaftlichen Risiken führten jedoch im Frühjahr 1994 zur Ablehnung des Vorhabens [8.5].

### 8.3 Verfahrensbeschreibung

Die mit Kunststoff und organischen Bestandteilen verunreinigten Schrottpakete werden dem Schmelzreaktor zugeführt. Am Boden des Reaktors befinden sich Sauerstoff- und Erdgasdüsen, die die Schmelze auf über 2.000 °C erwärmen. Die Schmelze wird kontinuierlich mitsamt der Schlacke einem Hochofen zur weiteren konventionellen Bearbeitung zugeführt.

Da in der Schmelzzone des Reaktors eine reduzierende Atmosphäre herrscht, werden die organischen Bestandteile der Schrottpakete in ein Gas überführt und nicht vollständig verbrannt. Durch die hohen

Temperaturen von über 2.000 °C gehen außerdem Zink (Siedepunkt ca. 900 °C) und Blei (Siedepunkt ca. 1.750 °C) in das Rauchgas über und lagern sich bei Abkühlung bevorzugt an den Staubpartikeln an.

In der oberen Zone des Schmelzreaktors wird Sekundärluft zugegeben, um die reduzierenden Gase (z. B. CO) zu verbrennen. Außerdem werden die zugeführten Schrottpakete durch die Wärmeentwicklung in diesem Bereich auf nahezu 1.000 °C vorgeheizt, was eine Energieeinsparung von fast 30 % gegenüber herkömmlichen Schmelzprozessen zur Folge hat.

Nach Verlassen des Schmelzreaktors gelangen die Rauchgase in einen zweistufigen Mischer mit Wirbelkammer (sog. „Thermoreaktor“), in dem eine Nachverbrennung von CO und Unverbranntem bei mindestens 1.100 °C stattfindet. Von hier gelangt das Rauchgas in den Abhitzeessel, in dem Dampf zur Strom- und Wärmeproduktion hergestellt wird. Die anfallenden Kesselstäube, die mit Zink und Blei angereichert sind, können

einem Zinkstaubverwerter zugeführt werden. Zur Anreicherung der Metallkonzentrationen dieser Staubfraktion wird ein Teilstrom in den Schmelzreaktor zurückgeführt. Im Abhitzeteil sollen die Rauchgase bis auf ca. 400 °C abgekühlt werden. Daran soll sich ein Quenchen mit Wasser auf ca. 150 °C anschließen, bevor die Rauchgase mit Schlauchfiltern entstaubt werden. Der Quenchen ist nach Ansicht der Mercedes Benz AG notwendig, um zuverlässig eine Neubildung von Dioxinen und Furanen zu unterbinden. Der im Schlauchfilter anfallende Staub soll ebenfalls verwertbar sein. Darauf folgt nach einem weiteren Quenchen eine zweistufige Rauchgaswäsche zur HCl- und SO<sub>2</sub>-Entfernung. Als Reststoffe entstehen dabei ein schwermetallhaltiges Abwasser, das einzudampfen ist sowie verwertbarer Gips.

Als abschließender Rauchgasreinigungsschritt folgt eine Aktivkohlefilterung zur Entfernung von Dioxinen/Furanen bzw. Schwermetallen aus dem Rauchgas. Der erschöpfte Koks soll dem Schmelzreaktor wieder als Brennstoff zugeführt werden. Der Ablauf des Verfahrens ist im Bild 8.1 vereinfacht dargestellt.

Es ist davon auszugehen, daß es sich bei dem Schmelzreaktor genehmigungsrechtlich um eine Abfallverbrennungsanlage handelt, die entsprechend der 17. BImSchV einzustufen ist.

Die Mercedes Benz AG geht davon aus, daß ca. 47 % des Fahrzeuggewichtes durch gezielte Demontage bzw. Entnahme von Betriebsstoffen verwertbar sind. 53 % verbleiben für ein „Metallurgisches Recycling“. Die Massenströme der Vordemontage sind im Bild 8.2 vereinfacht dargestellt.

Von den 530 kg Inputmaterial, die dem metallurgischen Recycling zugeführt werden, sind ca. 143 kg einer potentiellen Shredderleichtfraktion zuzuordnen (Fahrzeuggewicht von 1 Mg).

## 9. Anforderungen an die Produktgestaltung

Die Anforderungen, die an Automobile gestellt werden, steigen fortlaufend: Waren es früher vor allem Forderungen nach Funktionsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Komfort, so wird in jüngster Zeit vor allem der aktiven und passiven Sicherheit, der Umweltverträglichkeit und der Wirtschaftlichkeit ein höherer Stellenwert beigemessen. Als Konsequenz fanden spezifisch leichte Werkstoffe zunehmend Einsatz bei der Konstruktion der Personenkraftwagen. Ein laufend steigender Einsatz von Kunststoffen und Leichtmetallen ist die Folge davon.

In den modernen Automobilen sind hochwertige Baukomponenten und Werkstoffe eingebaut, die auch am Ende ihrer technischen Einsatzzeit noch einen erheblichen Wert darstellen. Die Abnehmer der Shredderindustrie sind bisher auf die Verwertung des Stahl- und NE-Metall-Schrotts eingestellt. Die Anteile anorganisch-nichtmetallischen und organischen Schrotts können bisher kaum wirtschaftlich verwertet werden. In der herkömmlichen Praxis werden nur die gut erhaltenen sowie aus hochwertigen Werkstoffen bestehenden Bauteile und -gruppen durch Altautoverwertungs- und Schrottbetriebe aus den Altautos entfernt

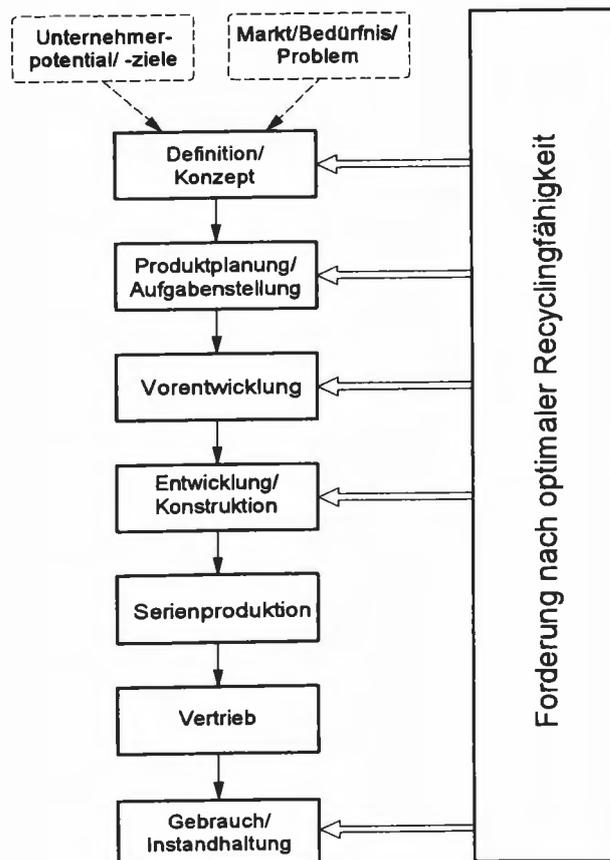
und auf dem Ersatzteil- bzw. Rohstoffmarkt verkauft. Die Verwertungsmöglichkeiten für Bauteile und Werkstoffe werden maßgeblich bestimmt durch:

- Bauteilform
- funktionelle Lebensdauer
- Werkstoffart
- Materialzusammensetzung
- Verbindungstechniken

Da die Erlöse aus Bauteil- und Materialverwertung einen wesentlichen Wirtschaftlichkeitsfaktor für Altautoverwerter darstellen, können durch die werkstoffliche und konstruktive Gestaltung von Automobilen die Verwertungsraten stark beeinflusst werden.

Eine weitere wichtige Bedingung einer wirtschaftlichen Altautoverwertung ist die Gewinnbarkeit der Teile und Materialien aus den Fahrzeugen. Die Ausbau- und Demontagezeiten werden vorrangig von der Konstruktion der Automobile bestimmt. Die demontegerechte Konstruktion der Bauteile, die Lösbarkeit von Verbindungen der Teile untereinander und deren Zugänglichkeit innerhalb des Fahrzeuges oder der Baugruppe beeinflussen die Demontagezeiten.

**Bild 9.1: Entstehung und Lebensphasen eines Automobils**



### 9.1 Recyclinggerechte Konstruktion

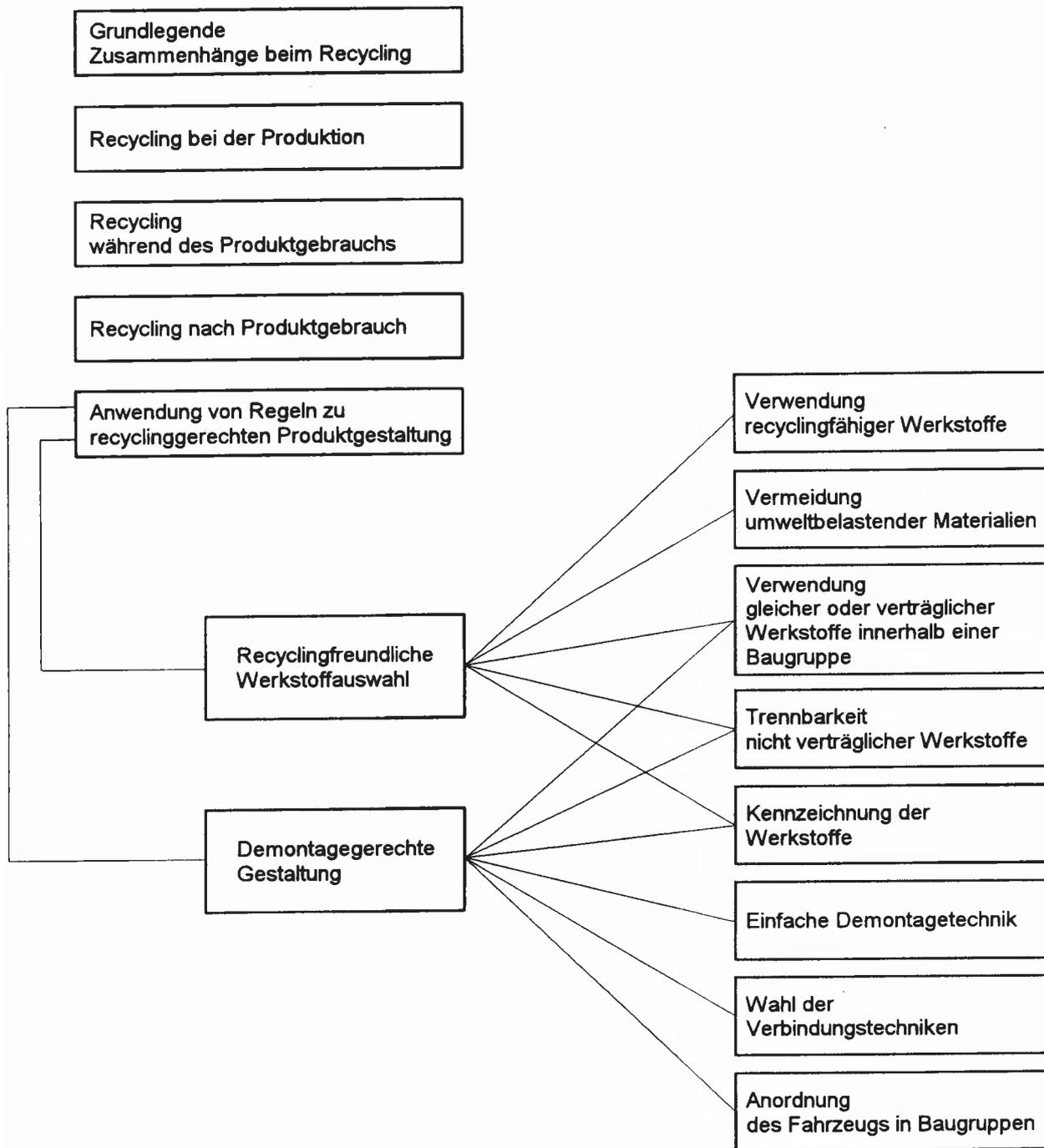
Bisher orientieren sich die herkömmlichen Verfahren zur Altautoverwertung an der von der Automobilindustrie vorgegebenen Konstruktion und Materialzusammensetzung. Auch die z. Z. entwickelten Demontage-techniken müssen diesen gegebenen Anforderungen genügen. Die verwertungs- und recyclinggerechte Konstruktion muß auf die zur Verfügung stehenden und in der Entwicklung befindlichen Verfahren zur Bauteil- und Werkstoffgewinnung abgestimmt sein. Die Anforderungen, welche die Verfahren zur Verwertung von Altfahrzeugen an die Konstruktion und Materialzusammensetzung stellen, müssen bereits in der Entwicklungsphase der Pkw-Modelle berücksichtigt werden.

Der Konstrukteur muß schon zu diesem Zeitpunkt die Gewinnung und Rückführung der Materialien und Bauteile in den Stoffkreislauf berücksichtigen und die Auswahl der Materialien und Verbindungstechniken entsprechend treffen. In der nachfolgenden Beschaffungs- und Versuchsphase soll die Wahl der Materialien, Verarbeitungs- und Montageverfahren hinsichtlich der Demontierbarkeit, der Verwertbarkeit und Recyclingfähigkeit überprüft werden.

Das Bild 9.1 zeigt die Angriffspunkte der Recyclinganforderungen in den Phasen der Automobilentwicklung, -produktion und -nutzung.

Die VDI-Richtlinie 2243 „Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte“ [9.6] gibt dem Konstrukteur Leitlinien an die Hand, um den Anforderungen des recyclinggerechten Konstruierens näherzukommen. Sie gliedert sich in fünf Abschnitte (vgl. Bild 9.2).

**Bild 9.2: Abschnitte der VDI-Richtlinie 2243 [9.6] und die relevanten Unterpunkte für recyclinggerechte Konstruktionen**



In einem Pilotprojekt der Volkswagen AG wurden die Bedenken der Konstrukteure gegenüber einer recyclinggerechtere Auslegung von Baugruppen zusammengetragen [9.10]. Diese lauten wie folgt:

- Verbindungen unterschiedlicher Werkstoffe (Metall/Kunststoff) sind funktionell erforderlich,
- hohe Anforderungen an Bauteilfestigkeit,
- Qualität (Festigkeit),
- Herstellkosten,
- Produktionsanforderungen (Lackierfähigkeit, Oberfläche),
- Mechanische Funktion des Werkstoffs (z. B. Elastizität),
- Funktionelle Anforderungen,
- Alterungsprobleme,
- Verschmutzung mit problematischen Rückständen,
- Craschanforderungen,
- Akustik,
- hoher Montageaufwand,
- Designanforderungen,
- Festigkeit von Verbindungen,
- Funktion von Verbindungen,

- Werkstoffspezifikationen,
- Kosten.

Bei der Entwicklung von Automobilen müssen die Anforderungen durch die gewünschten Produkteigenschaften mit denen des Recyclings in Einklang gebracht werden. Das muß bereits bei der Erstellung der Anforderungsliste an das Endprodukt geschehen. Folgende Punkte eignen sich als Hinweise zum recyclinggerechten Konstruieren [9.10]:

- Welche Werkstoffe eignen sich besonders zum Recyceln,
- Werkstoffverträglichkeiten unterschiedlicher Bauteile,
- Konstruktionsempfehlungen über recyclinggerechte Fügetechnik,
- Werkstoffdaten über Recycling-Werkstoffe,
- Anregungen zur Konstruktion unter Recyclingaspekten
- Katalog über recyclingfähige Materialien
- Werkstoffliste mit Angaben von Funktionsbeeinträchtigungen, Kosten, Konstruktionshinweise,
- Übersicht über recycelfähige Materialien, die ohne zusätzliche Umweltbelastung als Energieträger für den Schmelzprozeß im Stahlschrott enthalten sein dürfen,
- Detaillierte Informationen über den Demontagevorgang der einzelnen Baugruppen und Angaben der Demontageprobleme,
- Aufbau in Form einer Checkliste,
- Aufnahme in die Produktbeschreibung,
- Herstellungsmethoden,
- Hauptziele des Recycling, Wiederverwertungskreisläufe,
- Demontageumfänge,
- Kosten-Nutzen-Dokumentation,
- Ansprechpartner,
- Datenbank über Werkstoffe und Alternativen.

Grundvoraussetzung für die Demontierbarkeit ist die Umkehrbarkeit der Montagevorgänge. Die Konstruktion kann generell auf vier Ziele zur Förderung der Wiederverwertung ausgerichtet sein [9.3]:

### Ausbau von Bauteilen

Sollen vollständige Bauteile eines Altfahrzeuges wiederverwendet werden, so ist es erforderlich, sie unbeschädigt zu demontieren. Das ist in aller Regel mög-

lich, wenn es sich um große Bauteile, wie z. B. Sitze, Motorhauben oder Türen handelt. Es muß aber auch für kleinere Bauteile möglich sein, sofern deren Weiterverwendung nur wirtschaftlich interessant ist. Für alle diese Teile gilt, daß ihre Verbindung mit dem Fahrzeug lösbar sein muß, und daß die Verbindungselemente gut zugänglich sein müssen.

Die beschädigungsfreie Demontage ist dadurch gekennzeichnet, daß die Gestalt der demontierten Baugruppe oder des demontierten Bauteils vollständig erhalten bleibt. Die Demontage erfolgt i. d. R. mit den Werkzeugen, die auch bei der Montage verwendet werden. Die beschädigungsfreie Demontage ist dann anzuwenden, wenn ein Bauteil der Wiederverwertung zugeführt werden soll.

### Rückgewinnung von Kunststoffen

Eine optimale Werkstoffnutzung ist dann möglich, wenn thermoplastische Polymerwerkstoffe sortenrein und sauber wiedergewonnen werden können (siehe Kap. 5.2.2 bis 5.2.4). Die sortenreine Wiedergewinnung setzt voraus, daß jedes Bauteil nur aus einem einzigen Werkstoff besteht, oder Werkstoffverbunde zuverlässig getrennt werden können; sie setzt aber auch voraus, daß der Werkstoff leicht identifizierbar ist, z. B. auf Grund einer Kennzeichnung mit einem Code. Ansätze hierzu finden sich in der Kraftfahrzeugindustrie (Richtlinie VDA 260) und bei Verpackungen (DIN 6120). Außerdem wird bei Kunststoffen eine Beschränkung auf leicht wiederverwertbare Sorten notwendig sein.

### Rückgewinnung der niedermolekularen Ausgangsstoffe durch chemische Verfahren

Für die Verfahren zur Rückgewinnung (siehe Kap. 5.2.5) niedermolekularer Ausgangsstoffe, die sortenreine Kunststoffabfälle voraussetzen, gelten dieselben Forderungen wie o. a.

### Verbindungstechniken

Die demontagegerechte Gestaltung von Baugruppen ist primär von der verwendeten Verbindungstechnik (vgl. Bild 9.3) und den gewählten Verbindungselementen abhängig. Die wichtigste Regel lautet: alle Verbindungen, die bei der Demontage zu lösen sind, müssen sich leicht lösen lassen, ohne Beschädigung der Bauteile und möglichst auch der Verbindungselemente (vgl. Bild 9.3). Im Hinblick auf die Demontagefreundlichkeit müssen folgende Kriterien bei der Wahl der Verbindungstechnik beachtet werden [9.1]:

– lösbare Verbindungen bevorzugen,  
 – lösbare Verbindungen so gestalten, daß sie nicht durch Korrosion unlösbar werden,  
 – Anzahl der Verbindungselemente verringern,  
 – Vereinheitlichung der Verbindungselemente.

- lösbare Verbindungen bevorzugen,
- lösbare Verbindungen so gestalten, daß sie nicht durch Korrosion unlösbar werden,
- Anzahl der Verbindungselemente verringern,
- Vereinheitlichung der Verbindungselemente.

Tabelle 9.1 stellt die Anforderungen an recyclinggerechte Verbindungen den relevanten Checklisten bzw. Richtlinien gegenüber und verdeut-

**Bild 9.3: Einige Verbindungstechniken im Kraftfahrzeugbau [9.1]**

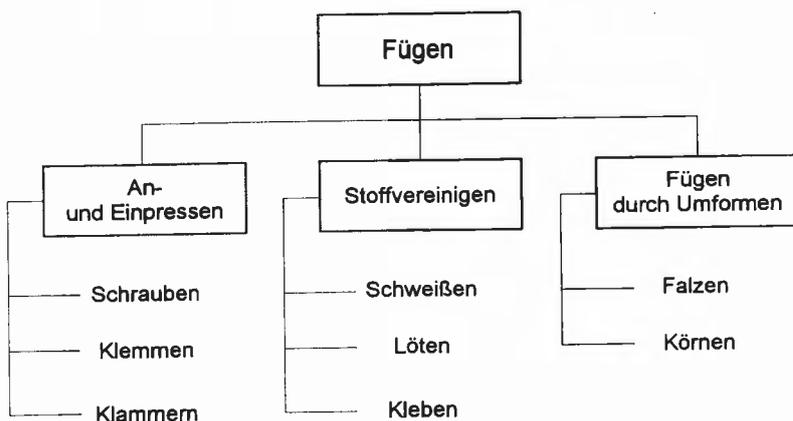


Tabelle 9.1: Anforderungen an recyclinggerechte Verbindungen [9.8]

Hauptmerkmale					
	Anforderungen	Checkliste aus VDI 2232			
		Regeln nach VDI 2243			
		für Produktrecycling			
		für Allstoffrecycling			
Geometrie	eindeutige Gestaltung der Fügestellen geringe Komplexität der Verbindungselemente	x	x	x	x
Kinematik	kurze Fügewege selbständiges Ausrichten	x	x		
Kräfte	Dauerfestigkeit über mehrere Nutzungszyklen geringer Betätigungsaufwand	x	x	x	x
Stoff	Einstoffsystem Werkstoffverträglichkeit	x		x	x
Signal	eindeutiger Fügezustand	x	x	x	
Sicherheit	gezielte Verschleißlenkung Langzeitschutz an Korrosionsstellen		x	x	
Ergonomie	Zugänglichkeit der Fügestellen gefährloses Montieren und Demontieren Reinigung ermöglichen	x	x	x	x
Montage	wenige Fügestellen	x	x		
	Förderung der Automatisierung	x	x	x	x
	Parallelmontage	x	x	x	
	einfache Montagewerkzeuge	x	x		x
	Montage und Demontage gleich gestalten schnelle Demontage beschädigungsfreie Demontage	x	x	x	x
Kontrolle	eindeutige Zustandserkennung Werkstoffkennzeichnung Bauteilkennzeichnung	x	x	x	
Recycling	Wieder-, Weiterverwendung	x	x	x	x
	ressourcenbewußte Bauteilgestaltung	x	x		
	Prinzip der minimalen Verluste	x	x		
	Entsorgungspflicht	x			
	Aufarbeitungsmöglichkeiten, Materialzugaben Produkthaftung		x	x	
Kosten	Standardisierung von Vorgängen, Maßen und Bezeichnungen	x	x	x	x

licht den aus den Anforderungen resultierenden Zielkonflikt, bei Berücksichtigung der Recyclingkreislaufarten, des Produkt- und Materialrecycling.

### Schweißen

Eine beschädigungsfreie Demontage von miteinander verschweißten Blechen ist nicht möglich. Es sollten daher nur miteinander verträgliche Werkstoffe durch schweißen verbunden werden.

### Löten/Kleben

Das Verbinden von Bauteilen durch Löten ist in weiten Teilen durch die relativ neue Verbindungstechnik des Klebens ersetzt. Für beide Verbindungstechniken – insbesondere für großflächig miteinander verklebten Bauteile – gilt, daß sie eine beschädigungsfreie Demontage verhindern. Sollen die Werkstoffe getrennt werden, sind Sollbruchstellen vorzusehen.

Beim Verkleben der Frontscheibe werden Klebstoffe verwendet, die beim Erhitzen ihre Wirkung verlieren. Bei der Demontage kann der Klebstoff durch einen eingelegten Heizdraht auf die erforderliche Temperatur gebracht werden.

### Schrauben

Schraubverbindung werden besonders für Bauteile eingesetzt, die verschleißanfällig sind und ggf. ausgetauscht werden müssen. Besonders für das Verbin-

den unverträglicher Bauteile ist das Schrauben eine geeignete Verbindungstechnik. Ist die Verschraubung, z. B. durch Korrosion nicht mehr lösbar, werden die Bauteile bei der Demontage beschädigt. Die Korrosion der Verbindung muß also vermieden werden.

### Klipsen

Das Klipsen wird bei der schnellen Montage von Bauteilen verwendet. Meist lassen sich die Bauteile in einem Arbeitsgang verbinden. Vorwiegend wird das Verfahren im Fahrzeuginnenraum angewandt. Bei der schnellen Demontage besteht die Gefahr, die Bauteile zu beschädigen.

Die Fahrzeugdemontage in Pilotanlagen läßt Demontagestrategien erkennen und gibt Hinweise für eine recyclinggerechte Konstruktion.

Die Demontage läßt sich durch eine Reihe von konstruktiven Maßnahmen erleichtern [9.6]:

- Produkte und Bauteile sind reinigungsgerecht zu gestalten.  
Die Oberfläche von Kunststoffen darf nicht angegriffen werden, Beschriftungen sollten geätzt oder geprägt werden, Schmutzecken sind zu vermeiden.
- Die verbleibende Funktionsfähigkeit des Bauteils muß erkennbar sein.  
Günstig sind prüfbare Maße wie Profiltiefe von Rei-

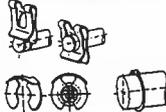
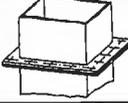
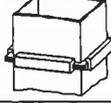
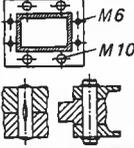
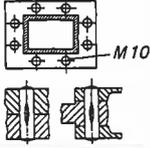
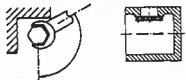
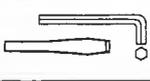
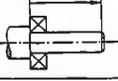
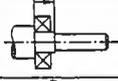
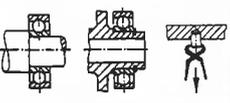
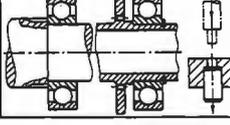
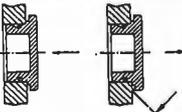
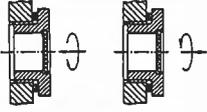
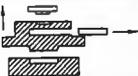
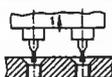
fen oder die Dicke von Bremsbelägen. In Fällen, in denen die Gefahr der Ermüdung, Alterung oder Versprödung besteht, sind sicherheitsrelevante Teile auszutauschen.

- Durch Standardisierung von Aufbau, Anschlußmaßen und Werkstoffen ist die Sortierbarkeit und die Lagerhaltung zu erleichtern.
- Für eine aufarbeitungsgerechte Gestaltung sind notwendige Materialzugaben sowie Aufspan- und Prüfhilfen vorzusehen.
- Häufige Aufarbeitungsverfahren sind Drehen sowie Schleifen zwecks Wiederherstellung hinreichend form- und lagegenauer Oberflächen von geringer Rauheit. Bei absehbaren Schäden läßt sich z. B. durch Materialzugaben Vorsorge treffen.
- Verschleiß ist auf speziell dafür vorgesehene,

leicht aufarbeitbare bzw. austauschbare Elemente zu beschränken.

- Verbindungstechniken sind so zu wählen, daß sie eine leichte Zugänglichkeit und Lösbarkeit ermöglichen. Beschädigungen an den Teilen sollen vermieden werden.
- Sind lebensbegrenzende Vorgänge, wie Korrosion, Ermüdung, Versprödung nicht auszuschließen, so sind ihre Auswirkungen einzugrenzen. Ebenfalls müssen lösbare Verbindungen während der gesamten Gebrauchsdauer einschließlich Recycling ihre Funktionsfähigkeit behalten, d. h. sowohl ihre Haltefähigkeit als auch ihre Lösbarkeit. Ebenso sollten Schutzschichten für die gesamte Lebensdauer ausgelegt sein oder aber sich leicht erneuern lassen.

**Bild 9.4: Beispiele für eine demontagegerechte Gestaltung von Fügstellen [9.6]**

Gestaltungsrichtlinien	nicht demontagegerecht	demontagegerecht
<b>demontagegerechte Fügstellen</b>		
- Verwenden leicht demontierbarer oder zerstörbarer Verbindungs- u. Sicherungselemente, auch nach längerer Nutzungsdauer		
- Verringern der Verbindungselemente		
- Verwenden gleicher Verbindungselemente		
- Gewährleisten guter Zugänglichkeit für Demontagewerkzeuge		
- Bevorzugen einfacher Standardwerkzeuge		
- Vermeiden langer Demontagewege		
- Anstreben beschädigungsfreier Demontage		
<b>speziell für mechanisierte Demontage</b>		
- Anstreben gleicher Montage- und Demontageoperationen und -werkzeuge		
- Anstreben einheitlicher Demontagerichtungen		
- Zeitliches Zusammenfassen von Demontageoperationen		

## 9.2 Recyclinggerechte Werkstoffauswahl

Die Auswahl der Werkstoffe berücksichtigte in der Vergangenheit nicht das Kriterium der Recyclingfähigkeit. Die Planung des Materialeinsatzes ging also nicht über das Fahrzeugleben hinaus.

Die Materialien müssen unter Berücksichtigung der Verträglichkeit zu Baugruppen verbunden werden. Diese Baugruppen sind dann demontagegerecht zu gestalten. Die Gestaltung betrifft nicht nur die Trennung der einzelnen Baugruppen voneinander oder die Demontage aus dem Altauto, sondern ggf. auch die Zerlegung der Baugruppen.

Eine recyclinggerechte Werkstoffauswahl ist in einer Reihe von Regeln enthalten, die sich zu einer Logistik gemäß Bild 9.4 [9.6] zusammenfassen lassen. Wenn der Idealfall eines Einstoffproduktes nicht möglich ist, sollte das Produkt einer einzigen Altstoffgruppe zuzuordnen sein oder einer verträglichen Werkstoffgruppe, d. h. einer Gruppe von Werkstoffen, die unter bestimmten Bedingungen gemeinsam verwertet werden können. Wenn dieses nicht durchführbar ist, muß eine Trennung in Baugruppen oder Teile vorgesehen werden, die sich wiederum möglichst als Einstoffprodukte darstellen bzw. verträglich sind [9.4].

Der Überblick über die im Automobilbau verwendeten Materialien berücksichtigt deren Recyclingmöglichkeiten [9.5].

### Fe-Metalle

Reinem Eisen werden aufgrund seiner geringen Festigkeit Legierungselemente hinzugefügt. Das wichtigste Legierungselement ist Kohlenstoff. Eisen-Kohlenstoffverbindungen mit

Tabelle 9.2: Verträglichkeitsfeld wichtiger Konstruktionskunststoffe [9.2]

Wichtige Konstruktions-Kunststoffe	PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBTP	PETP	PMMA
PE	-	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
PVC	U	-	U	C	U	U	U	n	o	U	U	n
PS	U	U	-	U	U	C	U	U	U	U	C	C
PC	U	C	U	-	U	U	U	n	n	n	n	n
PP	U	U	U	U	-	U	U	U	U	U	U	U
PA	U	U	C	U	U	-	U	U	U	C	C	U
POM	U	U	U	U	U	U	-	U	C	U	U	C
SAN	U	n	U	n	U	U	U	-	n	U	U	n
ABS	U	o	U	n	U	U	C	n	-	C	C	n
PBTP	U	U	U	n	U	C	U	U	C	-	U	U
PETP	U	U	C	n	U	C	U	U	C	U	-	U
PMMA	U	n	C	n	U	U	C	n	n	U	U	-

n verträglich      o beschränkt verträglich      C in kleinen Mengen verträglich      U nicht verträglich

einem Kohlenstoffanteil < 2 % werden als Stahl bezeichnet. Bei einem Anteil von  $\geq 2$  % wird die Legierung Gußstahl genannt. Ca. 95 Gew.-% der Stahl- bzw. 82 Gew.-% der gesamten Fe-Fraktion sind unlegierte Stähle. Der Konstrukteur muß also von diesen Stählen als Hauptwerkstoff innerhalb der Fe-Fraktion ausgehen.

Die Auswahl geeigneter Legierungen wird durch die Unverträglichkeit verschiedener Legierungen eingeschränkt. Die verschiedenen Bleche können wirtschaftlich nicht voneinander getrennt werden, sie werden gemeinsam dem Shredder zugeführt. Liegen beim nachfolgenden Schmelzvorgang die Anteile an nicht entfernbaren Begleitelementen zu hoch, muß durch Verschneiden mit verunreinigungsarmen Material der Anteil gesenkt oder der Altstoff der nächsthöheren Gruppe, d. h. der Gruppe mit höherem Legierungsanteil zugeordnet werden. Dadurch gehen entweder wertvolle im Schrott enthaltene Legierungselemente (z. B. Chrom) verloren, oder die Werkstoffe werden letztendlich der höchsten Altstoffgruppe (CrNiMo-Stahl) zugeordnet. Für diese Gruppe besteht in der Bundesrepublik jedoch nur eine geringe Nachfrage. Beide Maßnahmen sind somit aus wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden.

Ein weiteres Problem wird durch den Einsatz von Grauguß hervorgerufen. Zum einen weist Grauguß hohe Phosphatwerte auf, zum anderen ist das Gußeisen oftmals durch Anhaftungen von Fett oder Öl zusätzlich verunreinigt. Um zu verhindern, daß Gußeisen und Stahl gemeinsam in die Schmelze gelangen, sind verschiedene Möglichkeiten denkbar:

- Demontage gußeisenhaltiger Baugruppen,
- Substitution von Eisenguß z. B. durch Alu-Guß,
- Trennung der Fraktion nach dem Shreddern.

Verunreinigungen durch Kupfer in der Schmelze verursachen ebenfalls erhebliche Probleme. Sie führen zu schlechter Kaltverformungen und zur Verringerung der Bruchdehnung. Folglich ist dem Einsatz von Kupfer als Legierungselement und als kupferhaltiges Bauteil bei der Entwicklung und der Demontage besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

### Aluminium

Aluminium läßt sich erst nach Festigung durch Legierungen im Fahrzeugbau verwenden. Die wichtigsten Legierungen sind Kupfer, Magnesium und Silizium. Aluminiumlegierungen werden in Guß- und Knetlegierungen eingeteilt.

Wie beim Stahl liegt das Problem in der Identifikation der Aluminiumlegierungen nach dem Shreddervorgang. Da es kaum möglich ist, die verschiedenen Legierungen zu separieren, ist auf die Verträglichkeiten bei der Konstruktion zu beachten. Nur wenn die Zusammensetzung der Knetlegierungen bekannt ist und keine Verunreinigungen auftreten, ist die Aufarbeitung von Knetlegierungen möglich. Verunreinigte Knetlegierungen werden normalerweise zu Gußlegierungen umgeschmolzen.

### Kupfer

Kupfer wird im Fahrzeugbau für die Fahrzeugelektrik und für den Einsatz in Wärmetauschern verwendet. Die bedeutendsten Kupferlegierungen sind Bronze (Kupfer-Zinn-Legierungen) und Messing (Kupfer-Zink-Legierungen), die z. B. für Zierleisten und Lagerschalen eingesetzt werden.

Aufgrund der problematischen Wirkung von Kupfer auf die Aluminium- und Stahlherstellung muß der

Kupferanteil im Shredderschrott reduziert werden. Dies läßt sich durch die Substitution von Kupfer durch anderen Materialien (z. B. im Bereich des Wärmetauschers) als auch durch die Demontage kupferhaltiger Bauteile vor der Shreddervorgang zu erreichen.

### Blei

Blei wird konzentriert in Batterien eingesetzt. Diese enthält neben Blei Schwefelsäure, Papier und PVC. Das Gehäuse besteht i. d. R. aus Hartgummi oder PP.

Da die Anordnung der Batterie wartungsgerecht eingebaut ist, läßt sich ein Ausbau mühelos durchführen. Für Bleiakumulatoren existiert ein wirtschaftlicher Recyclingkreislauf. Die Recyclingquote beträgt derzeit annähernd 100 %.

### Zink

Im Automobil werden eine Reihe von Präzisionsteilen aus Zinkguß verwendet (z. B. Scheibenwischeranlage). Diese Teile sind bei entsprechender Gestaltung durch Demontage gewinnbar.

Zink wird für das Verzinken von Blechen zum Korrosionsschutz verwendet. Eine Trennung von Stahl und Zinküberzug ist nur durch Schmelzprozesse möglich.

### Platin/Rhodium

Platin/Rhodium werden für die Herstellung von Katalysatoren benötigt. Derzeit existieren keine Substitutionsmöglichkeiten für die im Katalysator enthaltenen Edelmetalle. Es gilt daher die Rückführlogistik auszubauen, die z. Z. mit einer Rückgewinnung von Platin mit 10 % der Neuproduktion und von Rhodium mit 1 % nahezu unbedeutend ist.

### Kunststoffe

Das wichtigste Hindernis für die Wiederverwertung

bleibt die völlige oder teilweise Unverträglichkeit einiger oder aller im Gemisch enthaltenen Komponenten. In Tabelle 9.2 sind die wichtigen Konstruktionspolymere zusammengestellt, für die die Verträglichkeit – begrenzt oder in bestimmten Mischverhältnissen – nachgewiesen wurde. Sollen die konstruktiven Verwertungs- bzw. Aufbereitungstechniken bereits in der Planung berücksichtigt werden, so ist das Wissen, welche Thermoplaste für die Materialherstellung zusammengefaßt werden können und welche Mengenverhältnisse noch zulässig sind, unerlässlich.

Hierfür bietet sich als Strategie eine Kunststoff-Altstoffgruppen-Tabelle an, die die Zusammensetzung der einzelnen Altstoffgruppen im Idealzustand angeben sollte. Dazu wurden aus der Tabelle 9.1 die neun am häufigsten hergestellten und in der Konstruktion angewendeten Kunststoffe als Altkunststoffgruppen ausgewählt, die gleichzeitig mit größter Wahrscheinlichkeit auch als Hauptkunststoffgruppe (Kunststoff, der von den Kunststoffen den größten Gewichtsanteil in der Baugruppe ausmacht) auftreten. Den ausgewählten Altstoffgruppen wurden die für Konstruktionsteile wichtigsten Thermoplaste in Tabelle 9.2 zugeordnet, um das Verträglichkeitsverhalten festzustellen [9.2].

Der Tabelle 9.3 ist zu entnehmen, mit welchen wichtigen Thermoplasten die jeweiligen Hauptkunststoffe der Altstoffgruppen zu vermischen sind. Die Begriffe „unbeschränkt-“, „beschränkt-“ und „in kleinen Mengen verträglich“ sowie „unverträglich“ geben an, welches Mischungsverhältnis zwischen dem Hauptkunststoff der jeweiligen Altstoffgruppe und den wichtigsten Konstruktionsthermoplasten möglich ist [9.2].

### Sonstige Werkstoffe

Unter den sonstigen Werkstoffen hat Glas, das in Fahrzeugen meist in Form von Sicherheitsglas oder

**Tabelle 9.3: Vorschlag zur Kunststoff-Altstoffgruppen-Tabelle [9.2]**

Verträglichkeitsverhalten	verträglich											
	unbeschränkt						beschränkt		in kleinen Mengen			
Altstoffgruppen												
PVC				PMMA	SAN			ABS				PC
PE												
PP												
ABS			SAN	PMMA	PC		PVC		PBTP	PETP	POM	
PC	PETP	PBTP	PMMA	ABS	SAN						PVC	
PS									PMMA	PA	PETP	
PA									PBTP	PETP	PS	
POM									PMMA	ABS		
SAN			PC	ABS	PMMA	PVC						
Verträglichkeitsverhalten	unverträglich											
Altstoffgruppen												
PVC	POM	PETP	PBTP	PP	PE	PA	PS	sonst.				
PE	POM	PETP	PBTP	PC	PP	PA	PS	ABS	PMMA	PVC	SAN	
PP	POM	PETP	PBTP	PC	SAN	PA	PS	ABS	PMMA	PVC	PE	
ABS	PP	PE	PA	PC	sonst.							
PC	POM	PP	PE	PA	PS	sonst.						
PS	POM	PBTP	PC	PP	PE	ABS	PVC	SAN	sonst.			
PA	POM	PC	PP	PE	ABS	PMMA	PVC	SAN	sonst.			
POM	PETB	PBTP	PC	PP	PE	PA	PS	PVC	SAN	sonst.		
SAN	POM	PETP	PBTP	PP	PE	PA	PS	son.				

Verbundglas (Frontscheiben) verwendet wird, den entscheidenden Anteil. Schwierigkeiten beim Glasrecycling bereiten der Ausbau und der hohe Anteil an Fremdstoffen (z. B. Metalle), die das Glasrecycling erschweren.

### **Flüssigkeiten**

In Kraftfahrzeugen werden bis zu zehn verschiedene Betriebsflüssigkeiten verwendet. Bis auf die Entnahme von Kraftstoff und Motoröl bleiben die anderen Flüssigkeiten, von denen einige als Sonderabfall ein-

zustufen sind, i. d. R. im Autowrack und führen zu Kontaminationen des Shredderabfalls.

Da auf die Flüssigkeiten nicht verzichtet werden kann, muß gewährleistet sein, daß eine vollständige und problemlose Entleerung der Bauteile möglich ist. Das ist durch konstruktive Maßnahmen, z. B. Entleerungstutzen möglich. Können die Flüssigkeiten nicht entfernt werden, so sollten die Bauteile so zu demontieren sein, daß dabei keine Verschmutzungen anderer Bauteile durch austretende Betriebsstoffe auftreten.

## 10. Ausblick

Für eine beschleunigte Einführung von Recyclingtechnologien in der Altautoverwertung sind kurzfristige Entscheidungen auf politischer Ebene erforderlich. Die seit längerem in der Diskussion befindliche Altautoverordnung hat zu konzeptionellen Ansätzen der Rücknahme und Verwertung von Altfahrzeugen durch die Automobilindustrie, bzw. durch sie beauftragte Verwerter geführt. Der z. Z. nicht absehbare Zeitpunkt des Inkrafttretens der Altautoverordnung führt zu einer gewissen Lähmung in der Entwicklung und Umsetzung von Demontagekonzepten. Während die Wirtschaft auf die Mechanismen des Marktes setzt, schreibt die Altautoverordnung eine kostenfreie Rücknahmepflicht für den Letztbesitzer und anzustrebende Verwertungsquoten fest. Dies lehnt die Automobilindustrie ab und fordert zur Unterbindung der unkontrollierten Altautoentsorgung und -verwertung eine technische Anleitung zur Altautoverwertung.

Der künftige Grad des Recyclings im eigentlichen Sinn, d. h. die Rückführung von Werkstoffen in den Produktionsprozeß zur Herstellung von Produkten gleicher oder ähnlicher Nutzungsart, wird davon abhängig sein, inwieweit die im Automobilbau eingesetzten Materialien und die Konstruktionsprinzipien den Ansprüchen einer wirtschaftlichen Demontage und Verwertung entsprechen. Auch wenn die Bestrebungen der Automobilkonstruktoren in Richtung „recyclingfreundlicher“ Autos gehen, wird zum Erreichen dieses Anspruches ein längerer Zeitraum notwendig sein. Mittelfristig sind zwar höhere Verwertungsquoten zu erwarten, der Einsatz von Sekundärmaterialien wird aber überwiegend in fremden Branchen erfolgen. Die Gründe dafür liegen in den Materialeigenschaften und in der Struktur der Material- und Produktströme innerhalb der Industrie.

Eher problematisch ist der Zeitraum der nächsten zehn Jahre zu bewerten. In dieser Zeit werden weiterhin Altautos zur Verwertung gelangen, deren Konstruktion und Materialzusammensetzung nicht die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Demontage und Verwertung aufweisen. Die Demontagetiefe wird sich daher auf Materialien und Bauteile beschränken, für die bereits Absatzmärkte existieren. Eine Entspannung der Shredderabfallproblematik ist daher nicht zu erwarten. Die steigenden Kosten für die Entsorgung dieser Abfälle werden sich unmittelbar in erhöhten Altauto-Entsorgungsgebühren niederschlagen.

Die sich entwickelnden Strukturen der zukünftigen Verwertungsbranche für Altautos zeigt schon in den vorliegenden Konzeptionen Konzentrationserscheinungen. Bislang ist die Branche durch klein- und mittelständische Unternehmen gekennzeichnet, Handwerksbetriebe überwiegen. Nach Einschätzung des

Umweltbundesamtes geht der Trend zu größeren regionalen Verwertungszentren. Die Errichtung zentraler Großanlagen ist u. a. aufgrund der logistischen Probleme nicht zu erwarten. Vielmehr wird von der Automobilindustrie ein flächendeckendes Netz selbständiger, lizenzierter Verwerter präferiert.

Inwieweit sich das Konzept des metallurgischen Recyclings durchsetzen kann, scheint noch offen. Anlagen dieser Technologie sind erst ab Durchsätzen von 200.000 bis 400.000 Fahrzeugen pro Jahr wirtschaftlich tragbar. Nach Aussagen des Umweltbundesamtes wird dieses Konzept nicht gefördert.

Zusammenfassend läßt sich für die kommenden zehn Jahre folgendes Szenario zeichnen:

- Installation zunehmend flächendeckender Annahmestellen und regionaler Verwertungszentren durch Zusammenschlüsse oder Verbunde von Automobilherstellern, Automobilhändlern und -serviceleistenden sowie Verwertern.
- Diese Verwerter agieren unabhängig oder sind, sofern sie in Verbunde integriert sind, durch Lizenzierung und Verträge an bestimmte Hersteller gebunden
- Entwicklung kleiner und mittlerer Verwertungsunternehmen außerhalb der Verbunde. Die wirtschaftliche Existenz wird von Marktnischen und der Kombination von Demontage, der eigenen Verwertung bestimmter Materialien, Service- und Dienstleistungen bestimmt werden.
- Die Verwertungsquoten bleiben vorerst gering, bedingt durch wirtschaftliche Zwänge. Erst wenn „recyclingfreundliche“ Altautos zur Entsorgung gelangen, werden die Quoten spürbar steigen.
- Entwicklung und Installation von Verfahren und Anlagen zur stofflichen Verwertung der nichtmetallischen Materialien sowie zur thermischen Nutzung nicht verwertbarer Reststoffe.

Inwieweit die ökologischen Anforderungen an die Altautoverwertung in einem ökonomisch vertretbaren Rahmen erfüllt werden können, hängt nicht zuletzt davon ab, ob die Gesellschaft das generelle Abfallproblem erkennt und von Wirtschaft und Politik Lösungen verlangt. Darüber hinaus müssen einheitliche europäische Rahmenbedingungen geschaffen werden, um einen verstärkten Export von Altautos zu unterbinden.

Im Rahmen der EG-Projektgruppe „End of life vehicles“ wird ein entsprechender Versuch unternommen, unter Berücksichtigung nationaler Möglichkeiten eine Strategie für eine einheitliche europäische Gesetzgebung zu erarbeiten.

## 11. Literatur

- [2.1] N.N.: Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz – AbfG) vom 22. 08. 1986 (BGBl. I S. 1410, ber. S. 1501, zuletzt geändert durch Gesetz vom 23. 04. 1993, BGBl. Teil I, S. 466)
- [2.2] Gaßner; Siederer: Gutachterliche Stellungnahme zur Zulässigkeit der Zulassung einer Anlage zur Demontage von Altfahrzeugen nach § 7 Abs. 2 Abfallgesetz. Berlin: März 1991
- [2.3] Hessischer Verwaltungsgerichtshof: Beschluß vom 16. 01. 1990 – 3 TH 155/90 – GewArch. 1990
- [2.4] Klett, W.: Umweltrechtliche Bestimmungen für Verwerterbetriebe. Rohstoff Rundschau 16 (1991) S. 554; Abdruck eines gekürzten Vortragstextes anlässlich der Sitzung der DSV-Fachgruppe Autoverwertung und Rückdemontage im Deutschen Schrotterverband e. V. am 07. 05. 1991 in Köln
- [2.5] N.N.: Gesetz zur Erleichterung von Investitionen und der Ausweisung und Bereitstellung von Wohnbauland (Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz) vom 22. 04. 1993 (BGBl. Teil I, Nr. 16, S. 1)
- [2.6] N.N.: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 14. 05. 1990 (BGBl. I S. 880, zuletzt geändert durch Gesetz vom 22. 04. 1993, BGBl. Teil I, S. 466)
- [2.7] N.N.: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 24. 07. 1985 (BGBl. I S. 1586) zuletzt geändert am 22. 04. 1993 (BGBl. I S. 466)
- [2.8] N.N.: Merkblatt über die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Lagerung und Behandlung von Autowracks der LAGA. Technische Vorschriften für die Abfallbeseitigung Lfg. III/78: 1977
- [2.9] N.N.: Entwurf der Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen aus der Altfahrzeugentsorgung nach dem Abfallgesetz (AltfahrzeugV). Veröffentlichung Referat WA II 4: 27. 01. 1994
- [2.10] N.N.: Entwurf der Dritten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung Shredderrückstände. Bonn: 21. 03. 1990
- [2.11] N.N.: Verordnung über das Einsammeln und Befördern sowie über die Überwachung von Abfällen und Reststoffen (Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung – AbfRstÜ-berwV) vom 03. 04. 1990, BGBl. I S. 631, ber. S. 862
- [2.12] N.N.: Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm vom 26. 07. 1968 aufgrund der Gewerbeordnung erlassen und unverändert zum Bundesimmissionsschutzgesetz übernommen (BImSchG) vom 14. 05. 1990, BGBl. I S. 880, zuletzt geändert durch Gesetz vom 10. 12. 1990, BGBl. I S. 2634
- [2.13] N.N.: Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). Verordnung über gefährliche Stoffe vom 26. 8. 1986 (BGBl. I S. 1470), zuletzt geändert am 27. 12. 1987
- [2.14] N.N.: Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 20. 03. 1975 (BGBl. I S. 729) geändert durch Verordnung vom 02. 01. 1982 (BGBl. I S. 1), geändert durch die Verordnung vom 01. 08. 1983 (BGBl. I S. 1057)
- [2.15] N.N.: Arbeitssicherheitsgesetz. Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit vom 12. 12. 1973
- [2.16] N.N.: Reichsversicherungsordnung vom 19. 07. 1911 (RGBl. S. 509) zuletzt geändert durch Verordnung vom 31. 06. 1988
- [2.17] N.N.: Zielfestlegung der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung. Abfallwirtschaftsjournal Nr. 3 (1991) S. 180-182
- [2.18] Pautz, D. (Umweltbundesamt): Mündliche Mitteilung anlässlich eines Vortrags auf dem Seminar Kfz – Recycling am 27. 10. 93 in Schwerin
- [3.1] N.N.: Statistisches Jahrbuch. Statistisches Bundesamt (Hrsg.). Wiesbaden: 1992
- [3.2] N.N.: Statistische Mitteilungen. Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.): Reihe 1, Kraftfahrzeuge. Heft 7 1993
- [3.3] N.N.: Deutsche Shell AG (Hrsg.): Aktuelle Wirtschaftsanalysen Nr. 9, Heft 22. Hamburg (1991) S. 18
- [3.4] N.N.: Wohin mit den Shredderrückständen? Rohstoff-Rundschau 6 (1993) S. 201
- [3.5] N.N.: Initiativen für die Umwelt. Firmenschrift Adam Opel AG 1993
- [3.6] Wobben, D. et. al.: RW TÜV-Konzept zur Altfahrzeugentsorgung. Hauseigene Unterlagen RW TÜV Fahrzeug GmbH. Essen: 1993
- [3.7] Schäper, S. et.al.: Die Energiekette im Lebenszyklus eines Pkw. VDI-Bericht 934. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 1991

- [3.8] Pautz, D. (Umweltbundesamt): Mündliche Mitteilung anlässlich eines Vortrags auf dem Seminar Kfz – Recycling am 27.10. 93 in Schwerin
- [3.9] Bilitewski, B. et.al.: Erfassung und Entsorgung von Betriebsflüssigkeiten aus Personen-Kraftfahrzeugen. Dresden: Fachtagung „Kfz-Recycling“ 01. 10. 1993
- [3.10] Schmidt, J.: Altautomobil-Recycling international gesehen: Konzepte und Lösungswege in verschiedenen Ländern. Praxis-Forum Tagung 11 (1993) S. 23-66
- [3.11] Sattler, P.: Schrottsortieren mit Laser – ein automatisches Aufbereitungsverfahren für vermischte NE-Metalle von Automobilshredder. VDI-Bericht 934. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 1991
- [3.12] Aumund Förderbau GmbH: Prospektunterlagen Metallsortierung 1992
- [3.13] Goldmann, D.; Fröhlich, G.: Mechanische Aufbereitung von Shredderleichtmüll und Demontageteilen aus der Autoverwertung. VDI-Berichte 934. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [3.14] N.N.: Schrottwirtschaft. Sekundärrohstoffe 1 (1992) S. 4
- [3.15] N.N.: Automobilindustrie zur Altautoverwertung. VDI-Berichte. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [3.16] N.N.: Index der Großhandelsverkaufspreise für Altstoff. Euwid, Europäischer Wirtschaftsdienst: Jhg. 3, 07. 12. 1993
- [3.17] N.N.: VDA-Empfehlung 260. Dokumentation des Verbandes der Automobilindustrie e. V. Frankfurt: August 1990
- [3.18] N.N.: Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) vom 12. 03. 1992 (GMBL 5 – 139)
- [3.19] Oetjen-Dehne, R.; Ries, G.: Aufbereitung von Autowracks. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Materialrecycling durch Abfallaufbereitung. Berlin: EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik GmbH 1992
- [3.20] N.N.: Schadstoffentfrachtung von Shredderückständen. Umweltbundesamt (Hrsg.): Jahresberichte 1991 S. 284ff
- [3.21] Härdtle, G.: Vermeidung, Verwertung und Entsorgung von Abfällen aus Altautos. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Abfallvermeidung in der Metallindustrie 1. Berlin: EF Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH 1989
- [3.22] Schmidt, J.: Recycling von Kunststoffen aus Automobilen. Vortrag zum Thema: Stand und Entwicklungstendenzen beim Kunststoff-Recycling. Würzburg: Seminar des Deutschen Industrieforums für Technologie 06–07.05. 1992
- [3.23] N.N.: Shredderanlagen in Deutschland. Recycling Nr. 2 (1993) S. 32, 33
- [3.24] N.N.: Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes vom 23. 11. 1990, BGBl. I S. 2535, ber. S. 2832
- [3.25] Bilitewski, B.: Demontagetechnik von Altautos. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Materialrecycling durch Abfallaufbereitung. Berlin: EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik GmbH 1992
- [3.26] N.N.: Katalog wassergefährdender Stoffe vom 01. 03. 1985. GMBG 1885 S. 206
- [3.27] Reichelt, W. (IFA Pkw AG): Persönliche Mitteilungen am 09. 07. 1990
- [4.1] N.N.: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. VDI-Richtlinie 2243. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1993
- [4.2] N.N.: Umweltverträgliche Entsorgung von Altkraftfahrzeugen mit dem Ziel maximaler stofflicher Wiederverwertung. UMBERA GmbH (Hrsg.): Vorstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung der Republik Österreich. St. Pölten: 10. 04. 1992
- [4.3] G.A.T.mbH & Co. KG Postfach 35 01 24, 40443 Düsseldorf: Prospektunterlagen
- [4.4] Adolph, M.: Einsatz von Shredderanlagen zur Aufbereitung von Autokarosserien, Leichtschrott und NE-Metallschrott. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Recycling International '82. Berlin: E. Freitag Verlag für Umwelttechnik 1992
- [5.1] N.N.: Statistisches Jahrbuch. Statistisches Bundesamt (Hrsg.). Wiesbaden: 1992
- [5.2] N.N.: BDS Zukunftsperspektiven angedacht. Rohstoff Rundschau 22 (1993) S. 861–868
- [5.3] Schmidt, J.: Altautomobil-Recycling international gesehen: Konzepte und Lösungswege in verschiedenen Ländern. Praxis-Forum Tagung 11 (1993) S. 22–66
- [5.4] Orbon, M.: Sekundäraluminium im Automobil-Einsatz und Rückgewinnung. VDI-Berichte 934. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [5.5] Preussag Recycling GmbH, Hannover: Prospektunterlagen „Preussag Recycling“ 1993
- [5.6] Haldenwanger, H. G. et.al.: Recycling von Elektrik- und Elektrikkomponenten aus Altautos. Berlin: DVU Tagung Elektroschrott Mai 1993
- [5.7] Graser, K.: Wiederverwertung von Kunststoffen aus Altfahrzeugen – Möglichkeiten und Grenzen. Würzburg: Seminar Deutsches Industrieforum für Technologie am 06./07. 1992
- [5.8] Opel AG: Prospektunterlagen 1993
- [5.9] VW AG: Prospektunterlagen 1993
- [5.10] BMW AG: Prospektunterlagen 1992
- [5.11] Hoechst High Chem: Prospektunterlagen – Projekte der Wiederverwertung von Kunststoffen
- [5.12] N.N.: Stand und Entwicklungstendenzen beim Kunststoffrecycling. Deutsches Industrieforum

- für Technologie: Tagungsband Nr. II. Würzburg: 06./07. 05. 1992
- [5.13] Mercedes Benz AG: Prospektunterlagen
- [5.14] Nissan: Prospektunterlagen 1992
- [5.15] Holighaus, R.; Niemann, K.: Verwertung von Altkunststoffen durch Hydrierung. Würzburg: VDI-Seminar „stoffl. Verwertbarkeit von Abfall- und Reststoffen“ 18./19. 01. 1993
- [5.16] Wenning, M. P.; Kretschmar, K.: Technologie-studie zur Hydrierung, Pyrolyse und Vergasung von Altkunststoffen. EWvK – Fortschrittsberichte zur rohstofflichen Verwertung Nr. 2. Wiesbaden: 1992
- [5.17] Hirth, T.: Hydrolyse und Oxidation von Kunststoffen und Additiven in unter- und überkritischem Wasser. Erfassung und Verwertung von Kunststoff. Berlin: EF – Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH 1993
- [5.1] Bauer, G.: Wiederverwertung von Polyurethanen, Polyestern, Polyamiden und Abfallgemischen durch Alkoholyse und Hydrolyse. Seminar des Deutschen Industrieforums für Technologie: Stand und Entwicklungstendenzen beim Kunststoff-Recycling. Würzburg: 06./07. 05. 1992
- [5.19] Techn. Information der Bayer AG
- [5.20] Giegrich, H.; Hensel, C.: Autokat-Recycling - ein Beitrag zur künftigen Edelmetallversorgung. Sonderdruck aus Metall Nr. 7 (1990)
- [5.21] N.N.: Verbund für Katalysatorrecycling. Rohstoff Rundschau Nr. 14 (1992) S. 501
- [5.22] Stoll, H.: Recycling von Auto- Abgaskatalysator. EP – Spezial No.1 (1991) S. 29–32
- [5.23] N.N.: Konzept eines Altgummi-Verwertungs- und Entsorgungssystems – Stand Dezember 1991. Gesellschaft für Altgummi-Verwertungssystem mbH (Hrsg.) Frankfurt: 1992
- [5.24] Schmidt, J.: Recycling von Kunststoffen aus Altautomobilen. Seminar des Deutschen Industrieforums für Technologie: Stand und Entwicklungstendenzen beim Kunststoff-Recycling. Würzburg: 06./07. 05. 1992
- [5.25] N.N.: Glasindustrie. Sekundär-Rohstoffe Nr. 6 (1991) S. 192–193
- [5.6] Gläßer, C.: Möglichkeiten zur Verwertung von Glas aus Altautos. Vortrag bei einer Veranstaltung des Haus der Technik E.V.: Verwertung u. Entsorgung von Altfahrzeugen. Aachen: Mai 1991
- [5.27] Gläßer, C.: Möglichkeiten und Probleme bei der Verwertung von Glas aus Altfahrzeugen. Praxis-Forum Tagung Nr. 11 (1993) S. 213–220
- [5.28] N.N.: Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten zu Lande (Verordnung über brennbare Flüssigkeiten – VbF) vom 27. 02. 1990 (BGBL I S. 229) zuletzt geändert am 26. 08. 1992 (BGBL I S. 257)
- [5.29] N.N.: Technische Regeln brennbare Flüssigkeiten 003, BA rBL Nr. 3 (1981) S. 55
- [5.30] Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K.: Abfallwirtschaft. Berlin: Springer Verlag 1990 S. 25
- [5.31] Gebhardt, N.: Altgummi – zu schade für Deponie. Entsorgungs-Technik Sept./Okt. (1993) S. 30–31
- [5.32] N.N.: Wiederverwertung von Altgummi. Status und Tendenzen in der Gummiindustrie. VDI-Berichte 934. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [5.33] N.N.: Neues Verfahren für das Altreifenrecycling. Euwid Nr. 2 (1993) S. 16
- [5.34] N.N.: Thermische Altreifenverwertung – Mischgrenzwertberechnung nach der 17. BImSchV am Beispiel der Zementindustrie. WLB Envitec-Report 1992 S. 52–162
- [5.35] Telefonische Mitteilung des Fachverbandes Batterien vom 27. 01. 1994
- [5.36] Hiller, F.: Die Batterie und die Umwelt. Böblingen: Expert-Verlag 1990
- [5.37] Fa. VARTA Batterie AG: Prospektunterlagen
- [5.38] Schenker, G.: Bleirecycling aus Akkumulatorschrott und anderen Sekundärrohstoffen in der Bleihütte Oker der Metaleurop. Abfallwirtschaftsjournal 3 Nr. 1/2 (1991) S. 30–55
- [5.39] Schmidt, J.: Altautomobil-Recycling international gesehen: Konzepte und Lösungswege in verschiedenen Ländern, Praxis-Forum Nr. 11 (1993)
- [5.40] Pommerenke, P.: Betrieb einer typenoffenen Demontageanlage für Altfahrzeuge. Gewerbeabfall, Bilanzierung und Steuerung gewerblicher Abfälle. Sehnde: Büro für Umweltpädagogik Media 1993
- [5.41] Beitz, W. et. al.: Altteilverwendung im Automobilbau. Schriftreihe der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (Fat) Nr. 24. Frankfurt: 1982
- [5.42] Wolf, H. H.: Konzepte der deutschen Automobilindustrie zur Altautoverwertung. VDI-Bericht 934. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [6.1] VDA: Gemeinsames Konzept zum Kfz-Recycling. Mitteilung auf Anfrage 23. 09. 1993
- [6.2] Schmidt, D.; Schmidt, J.: Demontagekonzepte für Altautos. Gewerbeabfall, Bilanzierung und Steuerung gewerblicher Abfälle. Sehnde: Büro für Umweltpädagogik Media 1993
- [6.3] Kohler, H.: Großversuch der deutschen Automobilindustrie. Kunststoffe im Automobilbau, eine neue Chance und Herausforderung. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 1992
- [6.4] EURHEKA (Hrsg.): Informationsbroschüren für Annahmestellen und für Autoverwertungsbetriebe 1993
- [6.5] van Wickeren, P.: ARiV – Ein branchenübergreifendes Konzept für das Altautorecycling. Praxis Forum Tagung Nr. 11 (1993)

- [6.6] Kehler, D.: Trockenlegung von Automobilen. Düsseldorf: VDI-Bericht 934. VDI-Verlag GmbH 1991
- [6.7] Pommerenke, P.: Betrieb einer typenoffenen Demontageanlage für Altfahrzeuge. Gewerbeabfall, Bilanzierung und Steuerung gewerblicher Abfälle. Sehnde: Büro für Umweltpädagogik Media 1993
- [6.8] Mast, P.; Mosch, G.: Demontage und Verwertung von Kunststoffteilen aus Automobilen. FAT Schriftenreihe Nr. 100. Frankfurt/Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. 1993
- [6.9] N.N.: RWE-Entsorgung steigt ins Auto-Recycling ein. Rohstoff-Rundschau Nr. 19 (1993) S. 742
- [6.10] N.N.: Preussag kündigt Aufbau eines Netzes für Automobilrecycling an. Euwid Nr. 2 (1993)
- [6.11] N.N.: Kölner Kooperationsmodell für das Recycling von Altautos. Euwid Nr. 1 (1993) S. 3
- [6.12] N.N.: Vorbildliches Recycling im Osten. Rohstoffrundschau Nr. 10 (1993) S. 372ff.
- [6.13] N.N.: In Hohenthurm in Halle entsteht Anlage für das Autorecycling. Euwid Nr. 8 (1993) S. 7
- [6.14] N.N.: ARIV II – Automobilrecycling im Verbund. Studien-Kurzfassung der ORG-Consult im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen 1993
- [6.15] Weber, J.: Processing Methods for Discarded Cars – Summary –. Universiteit Twente, Faculteit der Werktuigbouwkunde. Enschede. 1990]
- [6.16] N.N.: ARIV I – Automobilrecycling im Verbund. Studien-Kurzfassung der ORG-Consult im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen 1992
- [6.17] N.N.: CARS – Recyclingbroschüre der Fa. Peugeot Talbot Deutschland GmbH. Saarbrücken: 1992
- [7.1] Schmidt; Weiß: Konzepte und Aktivitäten zur zukünftigen Altautoverwertung. Schwerin: Seminar Kfz-Recycling am 27./28. 10. 1993
- [7.2] Intecus: Anlagenkonzept für die Errichtung einer Altauto-Demontageanlage. Berlin: Juni 1993
- [7.3] N.N.: ARIV I – Automobilrecycling im Verbund. Studien-Kurzfassung der ORG-Consult im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen 1992
- [7.4] N.N.: Autoverwertung – Bildet sich ein Markt? Rohstoff Rundschau Nr. 3 (1992) S. 81
- [7.5] Sauer, R: Auch der Alte ist noch Geld wert. ADAC motorwelt Nr. 10 (1991) S. 15
- [7.6] N.N.: Jahresbericht des Verbandes Deutscher Automobilhersteller e. V. Auto (1990/91)
- [7.7] van Wickeren, P.: ARIV – Ein branchenübergreifendes Konzept für das Altautorecycling. Praxis Forum Tagung Nr. 11 (1993)
- [8.1] Kohler, H.: Recyclingkonzepte der Automobilindustrie und daraus resultierende Vorgaben für die Konstruktion. VDI-Berichte 906. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [8.2] Kohler H.; Nieder, W.: Metallurgisches Recycling als Alternative zum Shredderprozeß. VDI-Berichte 934. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [8.3] N.N.: Presseinformation der Mercedes Benz AG. Das Mercedes Benz Altautoverwertungskonzept 1992
- [8.4] N.N.: Voest/Mercedes: Standortfrage geklärt. Rohstoffrundschau Nr. 7 (1992) S. 211
- [8.5] N.N.; Maxhütte wird nicht zu Auto-Recyclingzentrum. Euwid Nr. 12 (1994) S. 6
- [9.1] Appel, H.; Kalis, P.-O.; Morres, H.: Grundlagen der Fahrzeugtechnik II. Berlin: Vorlesungsumdruck im Institut für Fahrzeugtechnik der TU 1989
- [9.2] Beitz, W.; Pourshrazi, M.: Wiederverwertung nicht sortenreiner Thermoplaste. Thomé-Kozmiensky; Käufer, H. (Hrsg.): Recycling von Kunststoffen 1. Berlin: EF-Verlag 1987 S. 24–30
- [9.3] Lützwow, W.; Schmidt, H.: Bestandsaufnahme zum Recycling von Kunststoffen aus Altfahrzeugen. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Recycling von Abfällen 1. Berlin: EF-Verlag 1989 S. 241–249
- [9.4] Jordan, W.: Konstruieren recyclinggerechter Produkte mit der neuen Richtlinie VDI 2243. VDI Berichte 906. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991
- [9.5] Pommerenke, P.: Diplomarbeit zum Thema Recycling – Auswirkung auf Entwurf und Konstruktion von Kraftfahrzeugen. Berlin: Institut für Fahrzeugtechnik der TU 1990
- [9.6] N.N.: VDI Richtlinie 2243: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. Berlin-Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1993
- [9.7] Jordan, W.: Recyclinggerechte Produktgestaltung als Grundlage für ein optimales Stoffrecycling. Resources and Conservation Nr. 14 (1987) S. 119–131
- [9.8] Schmidt-Kretschmer, M.; Beitz, W.: Demontagefreundliche Verbindungstechnik – ein Beitrag zum Produktrecycling. VDI Berichte 906. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991 S. 153–170
- [9.9] Barrenscheen, J.: Recyclinggerechte Konstruktion in der Automobilindustrie – Erfahrungen aus dem Pilotprojekt „Volkswagen-Recycling“. VDI Berichte 906. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1991 S. 209–229

# RM-KUNSTSTOFFRECYCLING ANLAGE

**3**65 Tage im Jahr, 24 Stunden am Tag im Einsatz. Für diese Beanspruchung haben wir unsere RM-Kunststoffrecycling Anlagen konzipiert. Sie sichern auch im härtesten Praxis-Betrieb hohe Produktqualität. Durch ökonomische Technik werden alle Aufbereitungskosten nachweislich reduziert.



365  
24  
GENERATION

**ÜBER 500 KUNSTSTOFF-VERARBEITER IN ALLER WELT  
NÜTZEN DIE VORTEILE VON EREMA HIGH TECH-RECYCLING:**

- dauerbetriebsfeste Anlage in 365/24-Qualität
- anforderungsgerechte Lösung durch Baustein-System
- geringe Aufbereitungskosten durch personal-, energie- und platzsparende Technik

Wir senden Ihnen gerne unseren informativen Prospekt. Rufen oder faxen Sie uns an. Wir reagieren prompt.



EREMA Ges.m.b.H., PO Box 38,  
Freindorf-Unterfeldstraße 3  
A-4052 Ansfelden/Linz, Austria  
Tel. 0732/311761, Fax 0732/311764

## MBH-BRONNEBERG AUTOFALTER: DIE MEISTBEWÄHRTEN



**Wir stellen aus:**  
**ENTSORGA-Köln, Halle 13/1**

- 25 Autos/Stunde
- Vollautomatik
- Diesel/Elektro
- Ölauffangwanne
- Absetzkippersystem



**MBH-BRONNEBERG**  
Postfach 556  
NL-5700 AN Helmond/Holland

Rufen Sie an: Herr Jan Jegerings  
Tel.: 0031 (0) 4920/43445  
Telefax: 0031 (0) 4920/43045

**HEINEN Recyclingmaschinen**  
Industriestraße · D-56593 Horhausen  
Tel.: 02687/2025 · Fax: 02687/2026

### Neuerscheinung

## Industrielle Demontage- und Recyclingkonzepte

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGSMODELLE ZUR ÖKONOMISCH EFFIZIENTEN UMSETZUNG  
ABFALLRECHTLICHER RÜCKNAHME UND VERWERTUNGSPFLICHTEN

Von **Dr. rer. poL. Thomas Spengler**  
1994, XIV, 162 Seiten, DIN A5, kartoniert,  
DM 56,-/öS 442,-/sfr: 58,40, ISBN 3 503 03608 3

Zur konsequenten Umsetzung des Abfallgesetzes können vom Gesetzgeber Rechtsverordnungen erlassen werden, die die Rücknahme und Verwertung ausgedienter Altprodukte durch die Hersteller regeln.

Die Produktdemontage und anschließende Verwertung der Produktkomponenten müssen kostenminimal bzw. unter Berücksichtigung erzielbarer Verwertungserlöse deckungsbeitragsmaximal durchgeführt werden. Geht man von einem jährlichen Aufkommen von 800.000 t Bauschutt aus und berücksichtigt, daß jedes der hierunter fallenden Produkte aus einer Vielzahl verschiedener Bauteile und Materialien besteht, so werden die Komplexität und wirtschaftliche Bedeutung des zugrundeliegenden Planungsproblems deutlich. Durch die Einführung der Rechtsverordnungen wird die Industrie vor die Aufgabe gestellt, für den jeweiligen An-

wendungsfall optimale Demontage- und Recyclingkonzepte vorzulegen und umzusetzen. Ziel der vorliegenden Neuerscheinung ist die Konzeption eines EDV-gestützten Planungssystems zur deckungsbeitragsmaximalen Demontage und Verwertung komplexer Verbundprodukte, wie Kraftfahrzeuge, Elektro- und Elektronikgeräte sowie Wohngebäude.

Das integrierte Demontage- und Verwertungsplanungssystem ist auf Personal Computer zu implementieren, so daß den mit dem Recycling komplexer Produkte beschäftigten Unternehmen ein methodisches Hilfsmittel an die Hand gegeben werden kann.

**ESV**

ERICH SCHMIDT VERLAG  
Berlin Bielefeld München

## HEROS

**Das Softwarepaket für Recyclingfachbetriebe**  
anwenderspezifisch • prozeßorientiert

**HEROS/A:** Softwarepaket für die Altautoverwertung

**HEROS/E:** Softwarepaket für die Elektro- und  
Elektronikschrottverwertung



- Logistikberatung und Systemkonzeption
- Organisations- und Softwarelösungen für die Logistik
- Schlüsselfertige Lösungen für die Lager- und Materialflußsteuerung

Heyde + Partner GmbH  
Charlottenstr. 34  
D-01099 Dresden  
Tel.: 03 51 / 5 28 27  
Fax: 03 51 / 57 05 44

# DAMIT ZUKUNFT ERFAHRBAR BLEIBT



**SKET**

**Wir sorgen dafür, daß Ihr Alter verschwindet**

- Know-how für eine typoffene Autodemontage
- Systemlösungen für umweltfreundliche Entsorgung, wirtschaftliche Wiedernutzung der Werkstoffe
- Demontageanlagen, ökologisch orientiert auf modernste Umwelttechnologie

**SKET**

**Wir bieten von der Annahme der Altfahrzeuge bis zur Bereitstellung der gewonnenen Aggregate, Bauteile und Materialkomponenten**

- Typunabhängige Demontage
- Entnahme sämtlicher flüssiger Betriebsstoffe
- Sonderdemontage zur Gewinnung von Second-hand-Ersatzteilen
- Liniendemontage in Demontagenestern
- Anlagen in Modulbauweise
- Variabler Durchsatz von 3 500 - 25 000 PKW pro Jahr in einer Demontagestrecke
- Genehmigungsverfahren
- Wirtschaftlichkeitsberechnung

**SKET**

**Auf die vier Buchstaben sollten Sie setzen**

**SKET MASCHINEN-  
UND  
ANLAGENBAU AG**

**Walzwerke**

Marienstr. 20 • D-39100 Magdeburg  
Tel. 0391/683993 • Fax 0391/685565  
Telex 351241 sket d

Von der Müllbeseitigung zur Abfallwirtschaft – damit ist die Entwicklung der letzten zwei Jahrzehnte umrissen. Die Prioritäten haben sich geändert:

- ▼ **Abfallvermeidung** geht heute vor
- ▼ **Abfallverwertung**; diese wiederum geht vor
- ▼ **Abfallbeseitigung**

Beseitigt werden sollen nur Abfälle, die sich nach Stand der Technik weder vermeiden noch verwerten lassen. Dies stellt neue Anforderungen an alle Beteiligten, vom Produktionsbetrieb bis zum professionellen Beseitiger: Mehr und mehr verschiebt sich die Zusammensetzung des zu beseitigenden Abfalls hin zu **Sonderabfällen**, die teilweise komplizierte Vorbehandlungen erfordern.

Sich dieser Herausforderung erfolgreich zu stellen erfordert ein Arbeitsmittel, das in mittlerweile 30 Jahren seine Eignung unter Beweis gestellt hat und heute aktueller und wichtiger als je zuvor ist:

# MÜLL HAND BUCH

**Sammlung und Transport,  
Behandlung und Ablagerung  
sowie Vermeidung und  
Verwertung von Abfällen**

*Ergänzbare Handbuch  
für die kommunale  
und industrielle  
Abfallwirtschaft*



## Das MÜLL-HANDBUCH

▼ Das gesamte Know-how der Abfallwirtschaft, angefangen von Kriterien für die Auswahl von Müllfahrzeugen bis hin zu Beseitigungsmethoden PCB-haltiger Abfälle, wurde von über 250 namhaften Mitarbeitern für dieses Standardwerk zusammengetragen. Unternehmen mit nach Art oder Menge problematischen Abfällen und öffentliche wie private Beseitigungsbetriebe und Anlagenbetreiber benutzen das Müll-Handbuch seit langem zur Bewältigung der sich ständig ändernden Aufgaben. Behörden und Ämtern im Bundes-, Landes- und kommunalen Bereich ebenso wie öffentlichen und privaten Forschungsinstituten sowie Ingenieurbüros dient das Handbuch als ständige Informationsquelle.

Herausgegeben von Prof. Dr. med. habil. G. Hösel, Ministerialdirigent a. D., Erster Direktor und Professor beim Umweltbundesamt  
Dipl.-Ing. W. Schenkel und Dr.-Ing. H. Schnurer, Ministerialdirigent beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.  
Unter Mitwirkung in- und ausländischer Fachleute aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.  
Begründet von Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Kumpf †, D. K. Maas † und Prof. Dr.-Ing. H. Straub †

Ergänzbare Ausgabe, rd. 10 500 Seiten, DIN A 5, einschließlich 6 Spezialordner  
DM 486,-/öS 3798,-/sfr. 495,-, Ergänzungen von Fall zu Fall. Seitenpreis ca. DM 0,36.

ESV

ERICH SCHMIDT VERLAG  
Berlin Bielefeld München