



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte
FZKA 6940

Entsorgung von Schredderrückständen – ein aktueller Überblick

T. Reinhardt, U. Richers
Institut Technische Chemie

Januar 2004

Forschungszentrum Karlsruhe

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6940

Entsorgung von Schredderrückständen –

ein aktueller Überblick

T. Reinhardt*, U. Richers

Institut für Technische Chemie

* Herr Dr. Tim Reinhardt vertritt die "Gemeinsame Forschungsstelle Industrielle Stoffkreisläufe", eine Kooperation der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, der Technischen Universität Darmstadt und der HIM GmbH.

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

2004

Impressum der Print-Ausgabe:

**Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe**

**Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft
Deutscher Forschungszentren (HGF)**

ISSN 0947-8620

Zusammenfassung

Altfahrzeuge werden in der Prozesskette Vorbehandlung, Demontage und Schredder entsorgt. Die vorbehandelten und demontierten Restkarossen werden im Schredder zusammen mit anderem Schrott zerkleinert; die Metallanteile werden verwertet und die nicht verwertbaren Reste, die Schredderrückstände, werden überwiegend auf Deponien abgelagert.

Schredderrückstände sind eine heterogene Mischung aus Kunststoffen und Elastomeren, aber auch von anderen organischen und anorganischen Materialien. Der Heizwert liegt im Mittel bei 14.000 kJ/kg. Der Feinkornanteil < 10 mm beträgt rund 50 %. Die stoffliche Zusammensetzung und die chemisch-physikalischen bzw. mechanischen Eigenschaften sind von der Zusammensetzung der Schreddervormaterialien abhängig und variieren innerhalb großer Bandbreiten.

Rund 450.000 t Schredderrückstände standen im laufenden Jahr zur Entsorgung an; bis zu 300.000 t dieses Abfalls gehen auf die Entsorgung von Altfahrzeugen zurück.

Die Veränderungen des Materialeinsatzes im Fahrzeugbau aber auch die Lebensdauer eines Fahrzeugs sowie der endgültige Verbleib des Altfahrzeugs haben einen wesentlichen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung dieser Abfallmenge; eine genaue Prognose ist aufgrund der vielfältigen Faktoren nicht möglich.

Ab dem 01. Juni 2005 ist die Ablagerung unbehandelter Schredderrückstände auf Deponien nicht mehr möglich, da diese Materialien die Zuordnungskriterien der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) nicht erfüllen. Bereits ab diesem Zeitpunkt müssen alle Schredderrückstände vor der Ablagerung in geeigneter Weise behandelt werden.

Die Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV) schreibt die weitgehende Verwertung von Altfahrzeugen vor: Ab dem 01. Januar 2006 müssen auch Anteile der Schredderrückstände aus Altfahrzeugen verwertet werden. Ab dem 01. Januar 2015 müssen Schredderrückstände überwiegend verwertet werden, wobei ein Teil dieser Materialien auch stofflich zu verwerten ist. Die nicht verwerteten Anteile müssen jeweils in geeigneter Weise behandelt und beseitigt werden.

Die thermische Behandlung von Schredderrückständen in der konventionellen MVA ist möglich. Weitere thermische Verfahren sind bereits großtechnisch erprobt.

Die stoffliche Verwertung von Schredderrückständen ist bei der Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum-Schwarze Pumpe GmbH möglich; hier stehen begrenzte Kapazitäten zur Verfügung. Andere Verfahren zur stofflichen Verwertung dieser Materialien befinden sich in der Entwicklung; der praktische Nachweis ihrer Leistungsfähigkeit steht aber noch aus.

Die energetische Verwertung von Abfällen ist aufgrund zweier Urteile des EuGH in Diskussion geraten: Eine energetische Verwertung von Abfällen in industriellen Produktionsanlagen sowie Kraftwerken ist zwar möglich, allerdings sind Schredderrückstände in der Regel hierfür nicht geeignet. Eine energetische Verwertung von Abfällen in der MVA ist an eine Reihe von Bedingungen geknüpft und nur in Ausnahmefällen möglich.

Kombinationsanlagen aus thermischer Abfallbehandlung und Kraftwerk erfüllen die wesentlichen Forderungen; Prozessdampf aus der MVA wird im Kraftwerk verwertet. Die energetische Verwertung von Schredderrückständen und anderen Abfällen in diesen Anlagen erscheint möglich.

Disposal of auto-shredder-residue - a current survey

Abstract

End-of-Life-Vehicles (ELV's) end up being reclaimed and processed. The ELV's are disassembled by dismantlers. Gasoline, oil and other liquids are drained or removed. The pretreated ELV-bodies are further processed by the shredder-industry. Using large-sized hammer mills called "shredder", the ELV-bodies are pulverized. Metals are recovered from the scrap and at the same time, all other materials are sorted as auto-shredder-residue (ASR) and disposed off in landfills.

ASR is a heterogeneous mixture of all kinds of plastics, rubber, as well as other organic and inorganic materials. The average heat-content of ASR is about 14.000 kJ/kg. Particles < 10 mm in size represent more than 50 % of the ASR gross weight. The chemical and physical properties of a particular ASR-probe will vary in a wide range since these properties are dependent on the particular composition of the shredder input material.

About 450.000 t of ASR have been disposed off in Germany in 2003. Almost 2/3 of this entire mass results from processing ELV's. For decades now, the use of steel in automobile-manufacturing is constantly decreasing while at the same time growing amounts of alloy and plastics are found in cars. According to this, and with respect of the growing numbers of automobiles in use, even greater amounts of ASR should be expected during the next years. But since the final fate of ELV's is effected by a couple of not only technical but also economical and social parameters it is not possible to give an accurate forecast on the actual amounts of ASR during the upcoming years.

According to the German waste-legislation, particularly the Abfallablagungs-Verordnung (AbfAbIV), to dispose off ASR in landfills after June 1st 2005 requires some kind of adequate pre-treatment to reduce TOC-values and heat-content to a given standard.

With respect to the Altfahrzeug-Verordnung, the German national conversion of the EU-guideline 2000/53/EG, a fast percentage of an ELV's gross weight has to be recycled. After January 1st 2006 it will even be necessary to recycle some amounts of ASR to achieve the given standards. After January 1st 2015 most of the ASR will have to be recycled to cope with the more advanced standards, and even some portions of ASR will have to be reused or recycled as feed stock material.

Thermal treatment of ASR in conventional municipal-solid-waste incineration plants is possible. Even other thermal treatment processes have been developed and are already commercially available.

There is actually only one process providing feed-stock recycling of ASR: That is gasification of ASR and synthesis of Methanol from the gasification-products at SVZ GmbH. A limited capacity to recycle ASR is available at SVZ. Other feed-stock recycling processes are being developed but still have to prove their performances.

According to the decision of the European Court thermal recovery of waste is possible in industrial processes and power-plants. Thermal recovery in waste incineration plants is only possible if a couple of requirements are met. The combination of power-plant and waste incineration plant is likely to meet these requirements since steam from the incineration plant is used in the power-plant to generate electric power. This could be a promising solution not only for ASR, but also for other waste materials.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Altfahrzeugentsorgung	2
3	Gesetzesgrundlagen	7
3.1	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	7
3.2	Abfallverzeichnis-Verordnung	8
3.3	Altautoverordnung und freiwillige Selbstverpflichtung	9
3.4	Richtlinie 2000/53/EG	9
3.5	Altfahrzeug-Gesetz und Altfahrzeug-Verordnung	10
3.6	TA Siedlungsabfall und Abfallablagerungs-Verordnung	11
3.7	EU-Urteile	12
3.8	Auswirkungen der Rechtsvorschriften	13
4	Aufkommen und Eigenschaften von Schredderrückständen	17
4.1	Materialaufkommen	18
4.2	Materialeigenschaften	23
4.3	Zukünftige Veränderungen bei Aufkommen und Eigenschaften	28
5	Entsorgung von Schredderrückständen	29
5.1	Mitverbrennung MVA	30
5.2	Das TwinRec-Verfahren von EBARA	33
5.3	Thermische Behandlung Lahntal-Großfelden	36
5.4	RESHMENT-Verfahren der Conzepte Technik Umwelt AG	37
5.5	Kraftwerk Hamm	39
5.6	Thermoselect	41
5.7	SVZ-Schwarze Pumpe	42
5.8	HTSV-Verfahren der Fa. Grüßing/KSK-WT GmbH	44
5.9	Mechanische Aufbereitungsverfahren	45
	Das SRTL-Verfahren der Fa. GALLOO SA	45
	Das Verfahren der Fa. SALYP	47
	Das VW-SiCon-Verfahren	48
5.10	Vergleich der Verfahren	48
6	Zusammenfassung und zukünftige Entwicklungen	51
7	Quellen	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schredderstandorte in Deutschland (Stand 1/2000) [BDSV 1].....	5
Abbildung 2:	Exemplarischer Aufbau einer Schredderanlage [LfU].....	5
Abbildung 3:	Aktuelle Stoffströme bei der Entsorgung und Verwertung von Altfahrzeugen	14
Abbildung 4:	Stoffströme ab 2006 bei der Entsorgung und Verwertung von Altfahrzeugen	15
Abbildung 5:	Stoffströme ab 2015 bei der Entsorgung von Altfahrzeugen.....	16
Abbildung 6:	Aluminium im europäischen Automobilbau [Jopp].....	21
Abbildung 7:	Das Alter der Personenkraftwagen [KBA c].....	22
Abbildung 8:	Schematischer Schnitt durch eine Rostfeuerung.....	30
Abbildung 9:	Schema der ROWITEC□/TIF-Feuerung [LEE]	33
Abbildung 10:	Schema des TwinRec-Verfahrens [Fujimura].....	34
Abbildung 11:	Schematischer Aufbau der Anlage am Standort Aomori [Selinger 1].....	35
Abbildung 12:	Recyclingquoten für die Kombination aus Demontage, Schredderprozess und TwinRec-Verfahren [Selinger 1].....	36
Abbildung 13:	Blockschaltbild für den RESHMENT-Prozess [CTU-2]	37
Abbildung 14:	Kopplung der ConTherm-Anlage mit einem Kraftwerk [Schulz]	40
Abbildung 15:	Stoffströme in der ConTherm-Anlage (Auslegungsbeispiel) [Schulz]	40
Abbildung 16:	Thermoselec-Verfahren [Schrickel].....	41
Abbildung 17:	Vereinfachtes Fließbild des Anlagenverbundes beim SVZ [Bez]	43
Abbildung 18:	Das SRTL-Verfahren der Firma GALLOO SA / Belgien [Ferrão]	46
Abbildung 19:	Vereinfachtes Schema für den Vergleich von Verfahren zur Behandlung der Schredderleichtfraktion (siehe Text).	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Betriebsflüssigkeiten von Kraftfahrzeugen.....	3
Tabelle 2:	Einordnung der Schredderleichtfraktion und anderer Schredderrückständen nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV).....	9
Tabelle 3:	Zuordnungskriterien für Deponien nach TASI und AbfAbIV (Auswahl, nicht für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle).	12
Tabelle 4:	Stilllegungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern in Deutschland [KBA b].....	19
Tabelle 5:	Zusammensetzung der im Automobilbau verwendeten Materialien in Abhängigkeit vom Baujahr [Nathani].....	19
Tabelle 6:	Materialzusammensetzung von Neufahrzeugen [Christen]	20
Tabelle 7:	Weitere Angaben zu Bestandteile von Altfahrzeugen [EP].....	20
Tabelle 8:	Stoffliche Zusammensetzung der Schredderrückstände	24
Tabelle 9:	Elementinhaltsstoffe von Schredderrückständen	25
Tabelle 10:	Brennstoffanalysen von Schredderrückständen	26
Tabelle 11:	Siebanalyse und Siebinhaltsstoffe von Schredderrückständen [Spanke].....	26
Tabelle 12:	Massenbilanzierung für die Aufbereitung von Schredderrückständen in der Pilotanlage WESA 4 [Pruckner]	27
Tabelle 13:	Ausgesuchte Parameter der erzeugten "Flusen"-, "Granulat"- und "Sand"-Fraktion sowie der Fe-Anteile aus der Aufbereitung von Schredderrückständen im Verfahren der Universität Witten-Herdecke [Rudolph]	28
Tabelle 14:	Obergruppen nach [AAV] für in Rostfeuerungen mit verbrannte Abfälle (Auswahl; Bezeichnungstext teilweise gekürzt).	31

1 Einleitung

Schredderrückstände sind ein Abfall, der insbesondere bei der Entsorgung von alten Kraftfahrzeugen anfällt. Folglich stehen die anfallenden Mengen der Schredderrückstände in einem direkten Zusammenhang mit dem Bestand an Kraftfahrzeugen und ihrer Nutzungsdauer, der Anzahl der Fahrzeugstilllegungen, der werkstofflichen Zusammensetzung dieser Altfahrzeuge und ihrer Aufbereitung im Zuge der Entsorgung.

In Deutschland ergibt sich der Bestand an Personenkraftwagen aus Neuzulassungen und endgültigen Löschungen beim Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) [KBA a]. Im Zeitraum von 1999 bis 2002 stieg die Anzahl der Personenkraftwagen um 2,4 Mio. auf 44,7 Mio. an, obwohl in den Jahren 2001 und 2002 in Deutschland jeweils über 3 Mio. Personenkraftwagen stillgelegt wurden [KBA a]. Über 50 % dieser Altfahrzeuge wurden nach einem Export ins Ausland dort im Straßenverkehr genutzt oder entsorgt; alle anderen wurden in Deutschland dem Altfahrzeugrecycling zugeführt [Clüsserath]. Nach Informationen des Verbandes der europäischen Automobilhersteller wurden 2002 in Deutschland rund 3,4 Mio. Altfahrzeuge stillgelegt, von denen rund 1,2 Mio. im Inland entsorgt wurden [ACEA].

Die Entsorgung von Altfahrzeugen in Deutschland verläuft über verschiedene Stufen. Zunächst werden aus den Altfahrzeugen in anerkannten Demontagebetrieben die Betriebsflüssigkeiten entnommen und ausgewählte, wiederverwendbare Komponenten wie z.B. Motor, Getriebe und Karosserieteile demontiert. Ebenso werden vorgeschriebene Stoffe und Materialien (u.a. Reifen, Katalysatoren, asbesthaltige Bauteile, kraftfahrzeugfremde Stoffe) entnommen und einer Verwertung bzw. Beseitigung zugeführt. Anschließend wird die Restkarosse in einem Schredder, in der Regel gemeinsam mit anderem Schrott, zerkleinert. Aus dem zerkleinerten Inputmaterial werden Leichtstoffe (kleine Kunststoffteile, Schaumstoffe, Fasern, Stäube), die s.g. "Schredderleichtfraktion" abgeschieden; aus der verbleibenden Schwerfraktion werden in einer ersten Stufe die Eisenmetalle von den sonstigen Materialien (NE-Metalle, große Gummi- und Kunststoffteile, Steine, Glas) getrennt. In einem nachgeschalteten Arbeitsschritt werden NE-Metalle aus der Schwerfraktion zurück gewonnen. Die Schredderleichtfraktion sowie die nicht verwertbaren Anteile der Schwerfraktion werden gemeinsam als Schredderrückstände bezeichnet; diese sind als ein Abfallgemisch zu beschreiben, das zu großen Anteilen aus vermischten und verschmutzten Kunststoffen sowie anderen organischen (Textilien, Holz, Papier) und anorganischen Materialien (Metalle, Glas, Sand) besteht.

Der Kunststoffanteil in den Schredderrückständen resultiert u.a. aus dem Einsatz von Kunststoffen im Automobilbau, der eine Reihe von Vorteilen bringt: Das geringe Gewicht der Kunststoffteile trägt zur Kraftstoffeinsparung bei. Korrosionsbeständigkeit und einfache Formgebung sind weitere Vorzüge. Außerdem sind Kunststoffe unter sicherheitstechnischen Aspekten in der Fahrgastzelle von Bedeutung. Der Anteil von Kunststoffen am Fahrzeugleergewicht hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen; aus den zuvor genannten Gründen ist auch zukünftig eine weitere Zunahme zu erwarten. Diese Entwicklung wird in der Folge auch einen Effekt auf das Aufkommen und die stoffliche Zusammensetzung der Schredderrückstände haben.

Die Entsorgung von Altautos und Schredderrückständen ist keine neue Problematik sondern wird in Deutschland bereits seit vielen Jahren - häufig aufgrund veränderter Rechtsvorschriften - diskutiert. Bereits 1991 hatte der damalige Bundesumweltminister Töpfer die Automobilindustrie aufgefordert, Konzepte zur Rücknahme von Altautos vorzulegen [NN a]. Die Möglichkeit zum Recycling wurde schon damals von großen Automobilfirmen in der Werbung genutzt [NN a]. Bereits Anfang der 90er Jahre wurde aber schon über den Einsatz der Schredderleichtfraktion beim Schwel-Brenn-Verfahren der Firma Siemens berichtet;

dieses Kombinationsverfahren wurde als Alternative zur konventionellen Abfallverbrennung mit Rostfeuerungen entwickelt [Ahrens] [Redmann] [Rhodovi].

Mit Ausnahme der Schweiz und Japan erfolgt die Entsorgung der Schredderrückstände gegenwärtig weltweit durch die Ablagerung auf Deponien [Selinger 1]. Auch in Deutschland werden nur geringe Mengen der anfallenden Schredderrückstände in MVA entsorgt; der überwiegende Anteil wird auf Deponien abgelagert [Wallau 1]. Dieser Entsorgungsweg wird in Deutschland zukünftig aufgrund neuer Rechtsvorschriften nicht mehr genutzt werden können.

Zunächst sind die Anforderungen der TA Siedlungsabfall [TA Si] von 1993 und die später verabschiedete (2001) Abfallablagerungs-Verordnung [AbfAbIV] zu berücksichtigen. Aufgrund dieser Rechtsvorschriften ist eine Ablagerung von unbehandelten Abfällen auf Deponien nicht mehr möglich, denn neben anderen Kriterien sind die Vorgaben für den Glühverlust bzw. den Kohlenstoffgehalt einzuhalten.

Zusätzliche Anforderungen an die Entsorgung der Schredderrückstände wurden mit der Altautoverordnung [AltautoV] von 1997 festgelegt, die im Zuge der Umsetzung der europäischen Richtlinie über Altfahrzeuge [RL 2000/53/EG] durch die Altfahrzeugverordnung [AltfahrzeugV] ersetzt wurde. Die geforderten Quoten bzgl. einer Verwertung bzw. einer Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung von Altfahrzeugen machen bereits ab 01. Januar 2006 eine Verwertung, und ab 01. Januar 2015 dann auch die stoffliche Verwertung von Anteilen der Schredderrückstände notwendig.

Die veränderten Vorgaben bzgl. der Entsorgung von Schredderrückständen führen zwangsläufig auch zur Problematik einer Abgrenzung zwischen Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Der Europäische Gerichtshof hat in diesem Zusammenhang zwei Urteile [C-228/00] [C-458/00] gefällt, die bei weiteren Entscheidungen und der Auswahl der Entsorgungsverfahren zu berücksichtigen sein werden.

Der vorliegende Bericht soll den aktuellen Stand um die Entsorgung der Schredderrückstände zusammenfassen; im Mittelpunkt stehen die einzelnen Verfahren und ihre vergleichende Darstellung. Zusätzlich wird auf die Entsorgungsstrukturen, die wichtigsten Rechtsvorschriften und die Charakterisierung der Schredderrückstände eingegangen.

Auf Basis der gesammelten Informationen werden mögliche Optionen für die zukünftige Verwertung der Schredderrückstände entwickelt und offene Fragen im Zusammenhang mit der Entsorgung von Schredderrückständen abgeleitet.

2 Altfahrzeugentsorgung

Altfahrzeuge, d.h. Fahrzeuge die entsprechend § 3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes [KrW-/AbfG] "Abfall" sind und derer sich ein Besitzer entledigen will oder muss, müssen anerkannten Betrieben zur Entsorgung überlassen werden.

In der Vergangenheit wurden Altfahrzeuge zur Entsorgung mehr oder minder geordneten Schrottplätzen angedient. 1997 existierten in Deutschland rund 5.000 Altauto-Verwerter [Vollrath 1]. Die Altfahrzeugverordnung und ihre vorangegangenen Rechtsvorschriften haben zusammen mit verschärften Umweltauflagen bereits zu größeren Veränderungen bei der Entsorgung von Altfahrzeugen geführt. Bereits heute dürfen Altfahrzeuge nur noch anerkannten Demontagebetrieben überlassen werden; aktuell sind in Deutschland 840 zertifizierte Altfahrzeug-Verwertungsbetriebe tätig [EUWID 29 2003]. Außerdem werden Altfahrzeuge über anerkannte Rücknahmestellen den Demontagebetrieben zugeführt. Gemäß AltfahrzeugV sind die Automobilhersteller verpflichtet, solche Rücknahmestellen flächendeckend einzurichten.

Anerkannte Demontagebetriebe müssen generell einer Reihe von Vorschriften bzgl. Ausrüstung und Betrieb der Anlage sowie der Dokumentation der geleisteten Arbeiten genügen (vergleiche Kapitel 3.5). Hierunter fallen Vorgaben zu Größe und Organisation des Betriebsgeländes, der Befestigung von Flächen in Arbeits- und Lagerbereichen, der Handhabung der Altfahrzeuge, der entnommenen Komponenten und Materialien sowie der Anlagene Genehmigung [AltfahrzeugV].

Der prinzipielle Aufbau einer Demontageanlage und die Abfolge der Arbeitsschritte sind folgende: Zunächst werden die Altfahrzeuge erfasst und in einem Zwischenlager abgestellt. In einer ersten Vorbehandlungsstufe, auch als Trockenlegung bezeichnet, werden u.a. der restliche Tankinhalt und andere Betriebsstoffe entfernt. Außerdem werden im Rahmen der Vorbehandlung einzelne Komponenten wie Batterie, pyrotechnische Bauteile (aus Airbags) und ggf. Flüssiggastanks ausgebaut. Eine Zusammenstellung der Betriebsflüssigkeiten, die im Rahm der Vorbehandlung entnommen werden, enthält Tabelle 1.

Tabelle 1: Betriebsflüssigkeiten von Kraftfahrzeugen

Motorenöl	Bremsflüssigkeit
Getriebe-, Differentialöle	Scheibenwaschflüssigkeit
Hydraulik-, Servoöl	Stossdämpferöle
Kraftstoff	Kühlmittel aus Klimaanlage
Kühlflüssigkeiten	

Bei der eigentlichen Demontage werden anschließend stufenweise Hauptkomponenten aus dem Fahrzeug ausgebaut [Sket] [Noell]: Abhängig von Alter und Typ des Altfahrzeugs werden regelmäßig Räder und Reifen, Motor und Getriebe sowie ausgesuchte Karosserie und Anbauteile demontiert. Darüber hinaus ist die Demontage bzw. Entnahme bestimmter Stoffe, Materialien und Bauteile entweder aufgrund ihres Schad- und Störstoffcharakters (asbest- und quecksilberhaltige Bauteile, kraftfahrzeugfremde Stoffe, eventuell Latentwärmespeicher, eventuell weitere Bauteile nach Angaben des Herstellers), oder aufgrund ihrer Eignung zur Wiederverwendung oder zur stofflichen Verwertung (Katalysatoren, Auswuchtgewichte, Aluminiumfelgen, Reifen) vorgeschrieben.

Die AltfahrzeugV schreibt weiterhin die Demontage und vorrangige Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung von Glasscheiben vor; in gleicher Weise ist mit großen Kunststoffbauteilen (Stoßfänger, Radhäuser, Radkappen, Kühlerverkleidung) zu verfahren, sofern die entsprechenden Materialien beim oder nach dem Schreddern nicht in einer Weise getrennt werden, die eine stoffliche Verwertung ermöglicht. Hierzu war im Januar 2003 durch den LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall)-Hauptausschuss "Produktverantwortung und Rücknahmepflichten" (APV) eine Vollzugshilfe erarbeitet worden, welche die schrittweise Umsetzung der Verordnung bis Ende 2003 vorsah [EUWID 4 2003]. Noch im Frühjahr 2003 war in einer Studie die Durchführbarkeit dieser Vorschrift belegt worden [Woidasky]. Auch wird in der Demontage und werkstofflichen Verwertung von ausgewählten großen Kunststoffbauteilen die ökoeffizienteste Form der Verwertung gesehen [Öko-Institut]. Erste praxisnahe Erkenntnisse aus dem Projekt "Recycling von großen Kunststoffbauteilen aus der Altfahrzeugverwertung" der EUCAR Recycling GmbH [EUCAR] hatten aber dazu beigetragen, im Sommer 2003 die Vollzugshilfe dahingehend zu ändern, dass nunmehr lediglich große Kunststoffbauteile aus PP und ABS zu demontieren und einer Verwertung zuzuführen waren [APV]. Der Beschluss der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) vom

September 2003 sieht nun eine Aussetzung der Demontagepflicht für Glas und große Kunststoffbauteile bis 01. Januar 2006 vor; hierfür waren insbesondere wirtschaftliche Aspekte maßgeblich [EUWID 41 2003].

Durch Vorbehandlung und Demontage werden rund 30 % der Altfahrzeugmasse entnommen und einer geeigneten Beseitigung oder Verwertung zugeführt (Stand 1998) [ARGE-Altauto]. Die Restkarosse, d.h. das vorbehandelte und demontierte Altfahrzeug wird dann einem Schredderbetrieb zur weitergehenden Behandlung überlassen. Schredderstandorte in Deutschland sind in Abbildung 1 dargestellt.

Restkarossen aus Altfahrzeugen stellen aber nur einen Teil des s.g. Schreddervormaterials dar: Der Anteil der Restkarossen wird mit 27 Gew.-% [Wallau 1] bis 34 Gew.-% [Schenk] angegeben. Daneben werden bis zu 44 Gew.-% Misch- und Sammelschrott, 15 – 23 Gew.-% "weiße Ware" und bis zu 16 Gew.-% sonstige Materialien eingesetzt; die Zusammensetzung des Schreddervormaterials unterliegt den jeweiligen Marktbedingungen und kann im Einzelfall auch erheblich von den angegebenen Bandbreiten abweichen.

Die Zerkleinerung und Aufbereitung von Schrott im Schredder entspricht seit Anfang der siebziger Jahre dem Stand der Technik und hat die zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten Schrottscheren weitgehend verdrängt. Das vorrangige Ziel der Schreddertechnologie ist es, die im Schreddervormaterial enthaltenen hochwertigen Materialien so weitgehend als möglich zu trennen und für eine anschließende Verwertung zu erschließen [Pessel].

Die Zerkleinerung des Schreddervormaterials erfolgt nach dem Prinzip der Hammermühle, wobei das Schreddervormaterial zwischen den an einem Rotor frei pendelnd befestigten Schlagkörpern und einer statischen Ambosskante zerschlagen wird. Die Kantenlänge des zerkleinerten Materials wird durch die Lochweite eines Rostes vorgegeben, der auf der Austragsseite des Mühlengehäuses angeordnet ist; erst wenn unter der Wirkung der Schlagkörper das eingetragene Material die durch den Rost vorgegebene Größe unterschreitet, kann es das Mühlengehäuse verlassen [Pruckner].

Neben herkömmlichen Schreddern mit unterschiedlichen Ausführungen der Hammermühle (horizontaler oder vertikaler Rotor) und verschiedener Anordnung des Rostes (oben- oder untenliegender Rost) werden auch s.g. "Zerdiratoren" mit sowohl oberhalb als auch unterhalb des Rotors angeordneten Rosten und "Kondiratoren" mit neuartig gestalteter Materialaufgabe eingesetzt [Pessel].

Um das Zerkleinerungsaggregat sind verschiedene Einrichtungen zur Aufbereitung des Mahlguts gruppiert: Häufig werden Anlagen zur Entstaubung und Windsichter für das Ausheben von Leichtstoffen aus dem Mahlgut eingesetzt; Stäube und Leichtgut werden als "Schredderleichtfraktion" abgeschieden. Über Magnetabscheider werden die Eisenmetalle (Schredderschrott) im Mahlgut von NE-Metallen und sonstigen Materialien in der Schwerfraktion getrennt. Durch Wirbelstromsichter können NE-Metalle von den sonstigen Materialien in der Schwerfraktion abgeschieden werden; weitere Aufgabe- und Fördereinrichtungen sowie eventuell ergänzende Trenn- und Sortierschritte komplettieren die Anlage. Der exemplarische Aufbau einer Schredderanlage ist in Abbildung 2 dargestellt.

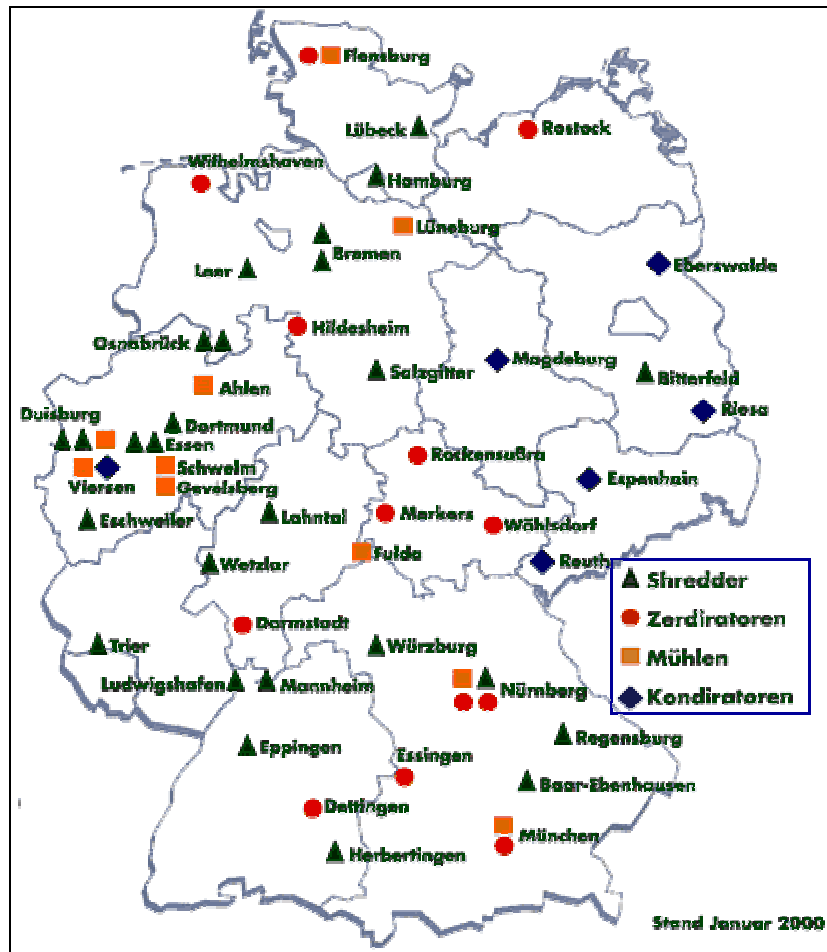


Abbildung 1: Schredderstandorte in Deutschland (Stand 1/2000) [BDSV 1]

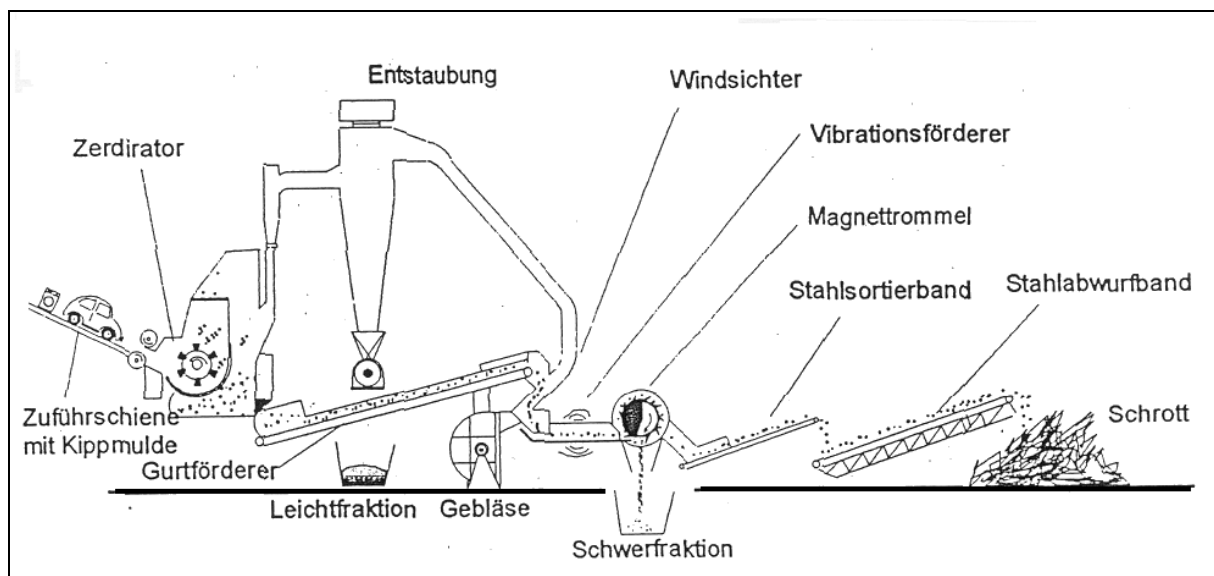


Abbildung 2: Exemplarischer Aufbau einer Schredderanlage [LfU]

Die Mengenanteile der verschiedenen Teilfraktionen im Austrag des Schredders sind in erheblichem Maße von den unterschiedlichen Materialanteilen im Schreddervormaterial und der eingesetzten Trenntechnik abhängig. Typische Anteile für Schredderschrott betragen 69 Gew.-% [Thomé-K.] bzw. 65 - 90 Gew.-% [Wallau 1]. Schredderschrott hat einen Fe-Anteil von 95 - 98 %; über 90 % des Fe-Metallanteils in der Restkarosse werden in den Schredderschrott überführt. Der Anteil der Schredderleichtfraktion beträgt 6 – 25 Gew.-% und der Anteil der Schwerfraktion 1 - 10 Gew.-% [Wallau 1]. Rund die Hälfte der Schwerfraktion besteht aus NE-Metallen; die andere Hälfte besteht aus Kunststoffen und sonstigen Materialien, die nach der Abtrennung der NE-Metalle meist zusammen mit der Schredderleichtfraktion als "Schredderrückstände" entsorgt werden müssen. Der Beitrag der Restkarossen zum Aufkommen dieser Schredderrückstände ist überproportional und beträgt 25 – 28 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht der Restkarossen [Thomé-K.] [Wallau 1].

Die aufgeführten Zahlen aus den Jahren 1994 [Thomé-K.] bzw. 1996 [Wallau 1] bilden den Werkstoffeinsatz im Automobilbau zu Beginn der achtziger Jahre ab. Aufgrund des zunehmenden Einsatzes von Kunststoffen, Glas und Leichtmetallen ist aktuell und in Zukunft mit einem zunehmenden Anteil der Schredderrückstände aus Altfahrzeugen [Nathani] [VKE 1] sowie einer veränderten Materialzusammensetzung zu rechnen [Kim].

Für die Bezeichnung der nichtmetallischen Rückstände, d.h. für die Schredderleichtfraktion und sonstige Materialien der Schwerfraktion werden in der Literatur unterschiedliche Begriffe, Abkürzungen und Schreibweisen verwendet. Die deutsche Altfahrzeug-Verordnung [AltfahrzeugV] fasst die Schredderleichtfraktion und die sonstigen Rückstände der Schwerfraktion unter dem Begriff Schredderrückstand zusammen; dieser Schredderrückstand wird in Deutschland üblicherweise unter dem Begriff Schredderleichtfraktion, oder kurz "SLF", verstanden. Während in der Altfahrzeug-Verordnung durchgängig auch die in der vorliegenden Arbeit verwendete deutsche Schreibweise für Schredder, Schredderleichtfraktion und Schredderrückstände verwendet wird, sind in der deutschsprachigen Fachliteratur häufig die entsprechenden Anglizismen (Shredder) bzw. Sprachchimären (Shredderleichtfraktion, Shredderrückstand) zu finden.

In der Schweiz wird dieses Material als "Reststoff aus Shredder" (RESH) bezeichnet. Die englische Bezeichnung lautet "automotive shredder residues" (ASR).

Nur wenige Informationen sind zur Kostenstruktur der gängigen Praxis der Altfahrzeugverwertung verfügbar: Im Rahmen des PRAVDA II-Pilotprojektes des Verbandes der Deutschen Automobilindustrie (VDA) waren in den Jahren 1994 bis 1996 Zahlen zu den Kosten der Altfahrzeugverwertung erhoben worden [VDA 1]. Das verfügbare Datenmaterial wurde auch vom "Arbeitskreis 16 – Kfz-Recycling" des Niedersächsischen Umweltministeriums weiter ausgewertet [NUM].

Auf der Kostenseite stehen die Arbeits-, Betriebs- und Unterhaltskosten für die Vorbehandlungs- und Demontagebetriebe sowie für die Schredderanlagen als auch die Kosten der Entsorgung und ggf. Verwertung von Betriebsflüssigkeiten, Materialien und Abfallstoffen. Den Kosten stehen Einnahmen für Wertstoffe, insbesondere den Schredderschrott sowie für entnommene und wieder verwendbare Ersatzteile gegenüber.

Ein wesentlicher Faktor bzgl. der Kostenstruktur ist die Demontagetiefe für einzelne Bauteile und Materialien: Wird ein Altfahrzeug vor dem Schredder lediglich vorbehandelt (Trockenlegung, Entnahme weniger vorgeschriebener oder werthaltiger Teile) so ist eine Zuzahlung von ca. 93 EUR zur Kostendeckung notwendig (Stand 1998). Die weitgehende Demontage von Materialien und Bauteilen macht dagegen eine Zuzahlung von 161 EUR zur Kostendeckung notwendig [NUM]. Die Deponiekosten für die Entsorgung von Schredderrückständen betragen 1997 durchschnittlich 112 EUR/t [Wallau 1]. Unter dem Eindruck der veränderten Anforderungen ab 01. Juni 2005 und in dem Versuch, einen

möglichst großen Teil des noch zur Verfügung stehenden Deponievolumens bis zu diesem Zeitpunkt zu verfüllen, haben die Preise für die Ablagerung von Abfall auf Deponien deutlich nachgegeben. Die aktuellen Kosten für die Entsorgung der Schredderrückstände auf der Deponie bewegen sich auf einem Niveau um ca. 50 EUR/t. Für die Deponierung von Siedlungsabfällen in Deutschland schwanken die Preise und Gebühren derzeit zwischen 33 und 125 EUR/t [EUWID 49 2003].

Im Rahmen einer Studie zum Recycling und Entsorgung von Altfahrzeugen in der Schweiz im Jahr 2000 werden die Entsorgungskosten mit ca. 165 CHF für ein trockengelegtes Altfahrzeug veranschlagt. Für die 85%-Verwertung - entsprechend den Vorgaben der europäischen Richtlinie für Altfahrzeuge ab dem Jahr 2006 - belaufen sich danach die Kosten bereits auf rund 300 CHF, und für die 95%-Verwertung (Vorgabe ab 2015) auf rund 500 CHF [Stücheli].

Die Kosten für die Beseitigung von Schredderrückständen (RESH) werden von der IGEA-Stiftung (Schweiz) im Durchschnitt mit 337 CHF/t incl. Transport angegeben; sie variieren in einem Bereich von 290 bis 475 CHF/t. Die Entsorgung von "RESH" aus schweizerischen Schredderanlagen erfolgt überwiegend in MVA in der Schweiz, Deutschland und Frankreich [SA-2002]. Die Kosten für die Beseitigung in den deutschen MVA wird im Mittel mit 345 CHF/t – entsprechend ca. 240 EUR/t – incl. Transport angegeben.

In einer neueren deutschen Studie wird der Kostendeckungsbeitrag für die Verwertung eines Altfahrzeugs ab 2006 mit 130 – 240EUR angegeben [EUWID 11 2003].

Die geforderte Demontage und stoffliche Verwertung von großen Kunststoffbauteilen (alternativ: Verwertung der Kunststoffe in den Schredderrückständen) würde gegenüber der gängigen Praxis Mehrkosten von 6 – 17 EUR je Altfahrzeug verursachen [Woidasky]; die Kosten pro t verwerteter Kunststoffe aus Altfahrzeugen würden – abhängig vom Bauteil – zwischen 4.800 und 13.600 EUR betragen.

3 Gesetzesgrundlagen

Für die Entsorgung der Schredderrückstände sind unterschiedliche Rechtsvorschriften zu beachten. Im Rahmen dieser Arbeit wird nur auf die wichtigsten Inhalte ausgewählter der Rechtsvorschriften eingegangen.

3.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [KrW-/AbfG] bildet in Deutschland das rechtliche Fundament für den Umgang mit Abfällen und wird durch mehrere Verordnungen ergänzt. Die bedeutendsten Grundsätze und Pflichten, die beim Umgang mit Abfällen zu beachten sind, enthalten § 4 und § 5 KrW-/AbfG. Dazu gehört u.a. die Rangordnung "Vermeidung, Verwertung, Beseitigung" und die Forderung nach ordnungsgemäßer und schadloser Abfallverwertung.

Nach § 4 Abs. 3 KrW-/AbfG umfasst die stoffliche Verwertung von Abfällen die Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe) oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke. Als energetische Verwertung wird entsprechend § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG der Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff festgelegt. Eine Hierarchie von stofflicher und energetischer Verwertung enthält das KrW-/AbfG nicht. Für die Abgrenzung der stofflichen bzw. thermischen Verwertung von der Beseitigung wird nur auf den "Hauptzweck der

Maßnahme" hingewiesen. Eine exakte Definition zur Abgrenzung zwischen den verschiedenen Möglichkeiten einer Verwertung und Beseitigung gibt es im KrW-/AbfG nicht.

Nur für eine energetische Verwertung von Abfällen enthält das KrW-/AbfG in § 6 Abs. 2 konkrete Mindestanforderungen; diese ist möglich, wenn

- der einzelne Abfall einen Heizwert von mindestens 11.000 kJ/kg aufweist.
- der Feuerwirkungsgrad der beaufschlagten Anlage mindestens 75 % beträgt.
- die freigesetzte Wärme genutzt wird.
- die Ablagerung (oder Verwertung) der anfallenden weiteren Abfälle (Asche, Schlacke) ohne weitere Behandlung möglich ist.

Die Festlegung einer Heizwertgrenze erscheint zunächst sinnvoll, aber in der Praxis entstehen u.a. durch fehlende Angaben zum "Ort der Bestimmung" größere Schwierigkeiten. Der Heizwert von Klärschlamm, der in Kraftwerken energetisch verwertet werden kann, weist mechanisch entwässert (ca. 35 % TS) einen wesentlich niedrigeren Heizwert auf als nach einer thermischen Trocknung (ca. 95 %TS).

Eine Abgrenzung wie im deutschen KrW-/AbfG, die wesentlich den Heizwert als Kriterium nutzt, existiert auch in anderen Mitgliedsstaaten der EU. So müssen z.B. in Frankreich mindestens 5.000 kJ/kg, in verschiedenen Regionen Belgiens dagegen 9.500 – 15.000 kJ/kg, in den Niederlanden 11.500 – 15.000 kJ/kg und in Großbritannien > 21.000 kJ/kg eingehalten werden, um einen Abfall energetisch verwerten zu dürfen [Dolde].

Aufgrund der aktuellen Diskussion um die Folgen aus den Urteilen vom Europäischen Gerichtshof (Siehe Abschnitt 3.7) muss abgewartet werden, ob der Heizwert zukünftig als Kriterium an Bedeutung gewinnt oder verliert; der EuGH hatte den Heizwert nicht als Kriterium für eine energetische Verwertung von Abfall benannt [C-458/00]. Seitens dem EU-Parlament nahe stehenden Organisationen wird aber ein Mindestheizwert von 11,5 – 15 kJ/kg für die energetische Verwertbarkeit von Abfall vorgeschlagen [EEB].

Zusätzliche Anforderungen für die Verwertung von Abfällen enthält § 5 Abs. 3 KrW-/AbfG, in dem eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung verlangt wird. Die ordnungsgemäße Verwertung bezieht sich auf die verfahrenstechnische Anlage, in der die Verwertung durchgeführt wird. Im Fall einer nach entsprechenden Gesetzen, in der Regel dem BImSchG, genehmigten Anlage kann von einer ordnungsgemäßen Verwertung ausgegangen werden.

Für eine schadlose Verwertung wird vom KrW-/AbfG gefordert, dass es keine Anreicherung von Schadstoffen im Wertstoffkreislauf geben darf (§ 5 Abs. 3 KrW-/AbfG). Allerdings fehlen Hinweise bzgl. der Definition einer Anreicherung. Folglich ist mit den Vorgaben aus dem KrW-/AbfG keine sichere Abgrenzung zwischen einer schadlosen und einer nichtschadlosen Verwertung möglich.

3.2 Abfallverzeichnis-Verordnung

Die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) [AVV] dient sowohl der Bezeichnung von Abfällen als auch der Einstufung der Abfälle bzgl. der Notwendigkeit einer Überwachung. Die AVV ist am 1. Jan. 2002 in Kraft getreten und ersetzt u.a. die ältere Verordnung zur Einführung des Europäischen Abfallkatalogs (EAKV).

Während Altfahrzeuge unter 16 01 04* nach AVV als besonders überwachungsbedürftige Abfälle eingestuft werden, werden solche Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten, unter 16 01 06 geführt; "trockengelegte", d.h. vorbehandelte Restkarossen können als "Abfall zur Verwertung" innerhalb der Grenzen der

EU frei gehandelt werden. Die Einordnung der Schredderleichtfraktion bzw. von Schredderrückständen nach der AVV ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Einordnung der Schredderleichtfraktion und anderer Schredderrückständen nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)

Kapitel	19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke
Abfallgruppe	19 10	Abfälle aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen
Abfallarten	19 10 01	Eisen- und Stahlabfälle
	19 10 02	NE-Metall-Abfälle
	19 10 03*	Schredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten
	19 10 04	Schredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen
	19 10 05*	andere Fraktionen, die gefährliche Stoffe enthalten
	19 10 06	andere Fraktionen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 05 fallen

* gefährliche Abfallarten, überwachungsbedürftig

3.3 Altautoverordnung und freiwillige Selbstverpflichtung

Bereits mit der "Verordnung über die Überlassung und umweltverträgliche Entsorgung von Altautos (AltautoV)" [AltautoV] vom 04. Juli 1997 - und in Verbindung mit der "Freiwilligen Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Altautoverwertung im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes" des Verbandes der Automobilindustrie e.V. (VDA) und anderer Wirtschaftsbeteiligter [VDA 2] - wurden die Anforderungen für eine umweltgerechte Verwertung und Entsorgung von Altautos geregelt: Darin verpflichtete sich die Automobilindustrie, den zu entsorgenden Anteil der Altautomasse bis zum Jahr 2002 auf weniger als 15 Gew.-%, und bis zum Jahre 2015 auf weniger als 5 Gew.-% zu reduzieren; ein Vergleich mit der aktuellen Situation offenbart ein Defizit [Clüsserath]: noch immer werden 20 – 25 % der Altfahrzeugmasse in Form von Schredderrückständen überwiegend auf Deponien entsorgt (s. Kapitel 3.9).

Die AltautoV wurde zwischenzeitlich im Zuge der Umsetzung der europäischen Richtlinie über Altfahrzeuge [2000/53/EG] durch das Altfahrzeug-Gesetz [AltfahrzeugG] novelliert.

3.4 Richtlinie 2000/53/EG

Die europäische "Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge" [2000/53/EG] verfolgt das Ziel, Maßnahmen zur Vermeidung von Fahrzeugabfällen durch Wiederverwendung, Recycling und Verwertung von Altfahrzeugen und ihren Bauteilen festzulegen und zielt auf eine verbesserte Umweltschutz-

leistung aller in den Lebenskreislauf von Fahrzeugen einbezogenen Wirtschaftsbeteiligten ab. Die Richtlinie greift wesentliche Aspekte der deutschen Altauto-Verordnung [AltautoV] auf: Bis 1. Januar 2006 müssen 85 % der Altfahrzeugmasse wieder verwendet und verwertet werden, wobei 80 % der Altfahrzeugmasse einer Wiederverwendung oder Recycling zugeführt werden müssen.

Ab 01. Januar 2015 müssen dann 95 % der Altfahrzeugmasse wieder verwendet oder verwertet werden, wobei dann bereits 85 % der Altfahrzeugmasse einer Wiederverwendung oder Recycling zugeführt werden müssen; bis spätestens 31. Dezember 2005 wird das europäische Parlament und der Rat diese Vorgaben anhand eines Berichts der Kommission überprüfen, der neben anderen fahrzeugbezogenen Umweltaspekten insbesondere die Entwicklung bei der Materialzusammensetzung von Fahrzeugen berücksichtigt.

Vor einer weitergehenden Behandlung müssen aus den Altfahrzeugen gefährliche Werkstoffe und Bauteile, die für eine Wiederverwendung geeignet sind, entfernt werden.

Die Richtlinie soll eine Harmonisierung der Altfahrzeugentsorgung in den Mitgliedsstaaten herbeiführen; die Richtlinie war bis zum 01. Juli 2002 in nationales Recht umzusetzen. Neben Deutschland haben mittlerweile Dänemark, Österreich, die Niederlande und Schweden diesen Schritt vollzogen [ACEA]. Im August 2003 wurde die Richtlinie 2000/53/EG dann auch in Frankreich in nationales Recht umgesetzt [EUWID 33 2003].

3.5 Altfahrzeug-Gesetz und Altfahrzeug-Verordnung

Mit dem "Gesetz über die Entsorgung von Altfahrzeugen – (AltfahrzeugG)" [AltfahrzeugG] vom 21. Juni 2002 regelt das Bundesumweltministerium die Umsetzung der am 21. Oktober 2000 in Kraft getretenen europäischen Richtlinie 2000/53/EG [2000/53/EG] über Altfahrzeuge. Mit dem AltfahrzeugG werden einerseits die Inhalte der AltautoV den europäischen Forderungen angepasst und andererseits der Verordnungsname in "Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung - AltfahrzeugV)" abgeändert.

Gegenüber den bisherigen Anforderungen (AltautoV) sieht die neu gefasste AltfahrzeugV [AltfahrzeugV] folgende Regelungen für die Verwertung/Entsorgung von Altfahrzeugen vor :

Die Fahrzeughersteller sind verpflichtet, die Altfahrzeuge ihrer Marke vom Letzthalter zurückzunehmen und hierzu flächendeckend Rückgabemöglichkeiten zu schaffen; die Hersteller müssen ferner die Entsorgungskosten für Fahrzeuge, die nach dem 01. Juli 2002 erstmals zugelassen wurden, ab diesem Zeitpunkt und für alle anderen Altfahrzeuge ab 2007 vollständig bzw. zu einem mindestens wesentlichen Teil übernehmen.

Altfahrzeuge sind durch ihren letzten Halter anerkannten Rücknahmestellen oder anerkannten Demontagebetrieben zu überlassen. Betreiber von Demontagebetrieben sind dazu verpflichtet, Restkarossen nur anerkannten Shredderbetrieben zu überlassen; nach Vorlage einer Stellungnahme eines Sachverständigen kann die zuständige Behörde einem Demontagebetrieb erlauben, Restkarossen einer sonstigen Anlage zur weiteren Behandlung zu überlassen.

Die Wirtschaftsbeteiligten stellen sicher, dass bezogen auf das durchschnittliche Altfahrzeugleergewicht folgende Zielvorgaben erreicht werden:

- Spätestens ab dem 01. Januar 2006 muss die Wiederverwendung und Verwertung der Altfahrzeuge mindestens 85 Gew.-% betragen, wobei mindestens 80 Gew.-% auf Wiederverwendung und stoffliche Verwertung entfallen müssen.
- Spätestens ab dem 01. Januar 2015 muss die Wiederverwendung und Verwertung der Altfahrzeuge mindestens 95 Gew.-% betragen, wobei mindestens 85 Gew.-% auf Wiederverwendung und stoffliche Verwertung entfallen müssen.

Darüber hinaus schreibt die AltfahrzeugV vor, dass spätestens ab dem 01. Januar 2006 Bauteile, Materialien und Betriebsflüssigkeiten mit einem Gewichtsanteil von im Mittel mindestens 10 Gew.-% (bezogen auf die Summe der Leergewichte der Altfahrzeuge) auszubauen oder zu entfernen und der Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung zuzuführen sind; hierbei dürfen metallische Bauteile und Materialien nicht in Ansatz gebracht werden.

Der Artikel 3 des Anhang 1 der AltfahrzeugV definiert die Anforderungen an die Demontagebetriebe: Bereits heute ist die Demontage und Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung ausgewiesener Bauteile und Komponenten verbindlich (Batterie, Airbags, Betriebsmittel, Katalysator, Glasscheiben, Reifen, u.a.); da Kunststoffanteile aus Schredderrückständen momentan noch nicht verwertet werden, müssen zudem große Kunststoffbauteile (Stoßfänger, Radkappen, Kühlergrill) demontiert und einer Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung zugeführt werden. Die ursprünglich bis Ende 2003 vorgesehene Umsetzung dieser Vorgabe wurde erst jüngst durch Beschluss der Vollversammlung der LAGA und unter Hinweis auf Abschnitt 5 (Ausnahmeregelungen) des Anhangs der AltfahrzeugV ausgesetzt. Erst 2006 sind die Quoten auch bzgl. der Kunststoffe bzw. Kunststoffbauteile zu erfüllen (siehe Kapitel 2). Trotz ökologischer Vorteile im Einzelfall stehen der Demontage und werkstofflichen Verwertung großer Kunststoffbauteile im praktischen Vollzug insbesondere wirtschaftliche Aspekte entgegen.

Der Artikel 4 des Anhang 1 der AltfahrzeugV definiert die Anforderungen an die Schredderbetriebe: Die Betreiber von Schredderanlagen müssen, bezogen auf die Summe des Leergewichts der Altfahrzeuge, vom nicht-metallischen Anteil der Schredderrückstände im Jahresmittel

- ab dem 01. Januar 2006 mindestens 5 Gew.-% einer Verwertung und
- ab dem 01. Januar 2015 mindestens 5 Gew.-% einer stofflichen Verwertung und weitere 10 Gew.-% einer Verwertung zuführen.

Wird die Schredderleichtfraktion einer qualifizierten Aufbereitung zugeführt, so kann der Gewichtsanteil der dabei abgetrennten Metalle in Ansatz gebracht werden, sofern diese Metalle einer stofflichen Verwertung zugeführt werden [AltfahrzeugV].

3.6 TA Siedlungsabfall und Abfallablagerungs-Verordnung

Neben den bisher vorgestellten Rechtsvorschriften, die Anforderungen an Altkraftfahrzeuge und deren Entsorgung enthalten, sind die Vorschriften der TA Siedlungsabfall [TA Si] von 1993 bzw. der Abfallablagerungs-Verordnung (AbfAbIV) [AbfAbIV] von 2001 zu beachten. Das Ziel beider Rechtsvorschriften ist es, eine Ablagerung von möglichst inerten Abfällen zu erreichen.

Von zentraler Bedeutung sind die (identischen) Zuordnungskriterien der beiden Rechtsvorschriften für Abfälle, von denen in Tabelle 3 eine Auswahl aufgeführt ist.

Tabelle 3: Zuordnungskriterien für Deponien nach [TA Si] und [AbfAbIV] (Auswahl, nicht für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle).

Organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz für	Deponieklasse I	Deponieklasse II
bestimmt als Glühverlust	≤ 3 Masse-%	≤ 5 Masse-%
bestimmt als TOC	≤ 1 Masse-%	≤ 3 Masse-%

Die im Rahmen der AbfAbIV zusätzlich geschaffenen Möglichkeiten zur Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle fordert für den TOC einen Wert von ≤ 18 Masse-% und/oder einen Heizwert unterhalb von 6.000 kJ/kg.

Aufgrund dieser Kriterien ist der bisherige Entsorgungsweg der Shredderleichtfraktion, die Ablagerung auf Deponien, nach Ablauf der Übergangsfristen ab 01. Juni 2005 nicht mehr möglich. Folglich müssen bereits ab 01. Juni 2005 Schredderrückstände vor einer eventuellen Ablagerung in einer Weise vorbehandelt werden, dass eine Einhaltung der Ablagerungskriterien nach AbfAbIV gewährleistet ist.

3.7 EU-Urteile

Neben den europäischen Richtlinien und Verordnungen, die in nationale Rechtsvorschriften der einzelnen Mitgliedstaaten überführt werden müssen, wirken sich auch Entscheidungen des Europäischen Gerichtshofs auf die Abfallwirtschaft aus. Die Urteile des Europäischen Gerichtshofs betreffen u.a. die Umsetzung, Anwendung und Interpretation der europäischen Richtlinien.

Im Kontext mit der Entsorgung von Altfahrzeugen und der Einhaltung von Verwertungsquoten sind die Urteile zu zwei europäischen Rechtsachen [C-228/00] [C-458/00], gefällt am 13. Februar 2003, von Bedeutung. Im Prinzip beziehen sich diese beiden Urteile nur auf Abfallexporte innerhalb der EU, aber die nationalen Konsequenzen für die zukünftige Auslegung und Anwendung von Rechtsvorschriften und damit für die Abfallwirtschaft werden derzeit lebhaft diskutiert.

Als vorläufige Ergebnisse der Stellungnahmen von Behörden, Verbänden und Industriebranchen bzw. ihren jeweiligen juristischen Vertretern ist festzuhalten, dass durch die oben genannten Urteile die Position der Abfallverwertung durch Mitverbrennung in Zementwerken (oder anderen Industrieanlagen) gestärkt wurde. Andererseits werden die Möglichkeiten zur Abfallverwertung in Abfallverbrennungsanlagen voraussichtlich beschränkt; die thermische Behandlung von Abfällen in Abfallverbrennungsanlagen dürfte zukünftig verstärkt als Beseitigungsmaßnahme eingestuft werden. Außerdem sind auf den Abfall bezogene (nationale) Kriterien wie Abfallheizwert oder Schadstoffgehalte für die Abgrenzung von Verwertung und Beseitigung (bei der Abfallverbringung) unzulässig. Weitere Details zu der Diskussion über die Urteile sind der Literatur [Bothe] [Buch] [Kaminski] [NN b] [Paschlaw] [Pauly] zu entnehmen.

Die o.g. Urteile haben auf Länderebene bereits zu Reaktionen geführt. Bereits im Mai 2003 wurden per Erlass in NRW die Möglichkeiten zum Einsatz von Abfällen zur Verwertung in MVA stark eingeschränkt; die Verwertung ist danach nur möglich, wenn

- eine Anlage auch vollständig ohne den Einsatz von Abfällen mit dem Ziel der Erzeugung von Energie betrieben werden kann
- und für die Energie, die in der Anlage erzeugt wird, ein Abnehmer vorhanden ist, dessen Bedarf auch bei einem Ausfall der Versorgung mit Abfällen zwingend durch den Weiterbetrieb dieser konkreten Anlage gedeckt werden muss.

Dies könnte z.B. der Fall sein, wenn eine MVA ein bestimmtes Gebiet im Fernwärmenetz versorgt und diese Versorgung bei Ausfall der Anlage nicht aufrecht erhalten werden könnte [EUWID 30 2003].

Die Voraussetzungen für eine energetische Verwertung von Abfällen in den jeweiligen MVA in NRW werden im Einzelfall anhand eines neuerlichen "Vorschlagspapiers" geprüft [EUWID 39-1 2003]. Dieses Vorschlagspapier sieht als Eingangsvoraussetzungen für eine energetische Verwertung einen Kesselwirkungsgrad von mindestens 85 % und die jahreszeitlich unabhängige Belieferung eines industriellen Abnehmers oder eines Energieversorgungsunternehmens mit Prozessdampf vor. Sind diese Kriterien erfüllt, liegt dem "Vorschlagspapier" zufolge bereits eine energetische Verwertung vor; diesen Standpunkt vertritt auch eine Stellungnahme des bayerischen Umweltministeriums [EUWID 42 2003].

Der Abfall-Rechts-Ausschuss (ARA) der Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat eine Empfehlung ausgearbeitet, wonach von einer energetischen Verwertung in einer MVA dann ausgegangen werden kann, wenn beispielsweise eine Verpflichtung zur Versorgung eines Gebietes mit Fernwärme besteht, die ohne den Betrieb der Anlage nicht sichergestellt wäre [LAGA 1].

3.8 Auswirkungen der Rechtsvorschriften

Eine Beurteilung der Veränderungen bzgl. der Entsorgung von Schredderrückständen aus Altfahrzeugen macht zunächst eine Betrachtung der aktuellen Situation erforderlich:

Altfahrzeuge bestehen zu einem großen Teil aus Bauteilen und Materialien, die für eine Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung geeignet sind. Im Rahmen der typischen Verwertungskette werden bereits heute durch Demontage- und Schredderbetriebe bis zu 80 Gew.-% der Altfahrzeugmasse in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt; 5 - 10 Gew.-% entfallen dabei auf die Demontage von Bauteilen und die Entnahme von Betriebsmitteln. Hier ist zu beachten, dass entsprechend der AltfahrzeugV – wie auch schon zuvor gemäß der AltautoV, Betriebsmittel sowie bestimmte Bauteile und Materialien entnommen bzw. demontiert werden müssen [VDA 1] [Wallau 2] [Clüßerath].

Abbildung 3 zeigt einen Überblick über diese Stoffströme. Zusätzlich sind in Abbildung 3 weitere Schreddervormaterialien (Misch- und Sammelschrott, "weiße Ware" usw.) aufgeführt; diese Materialien werden regelmäßig gemeinsam mit den Restkarossen aus Altfahrzeugen verarbeitet (siehe Kapitel 2).

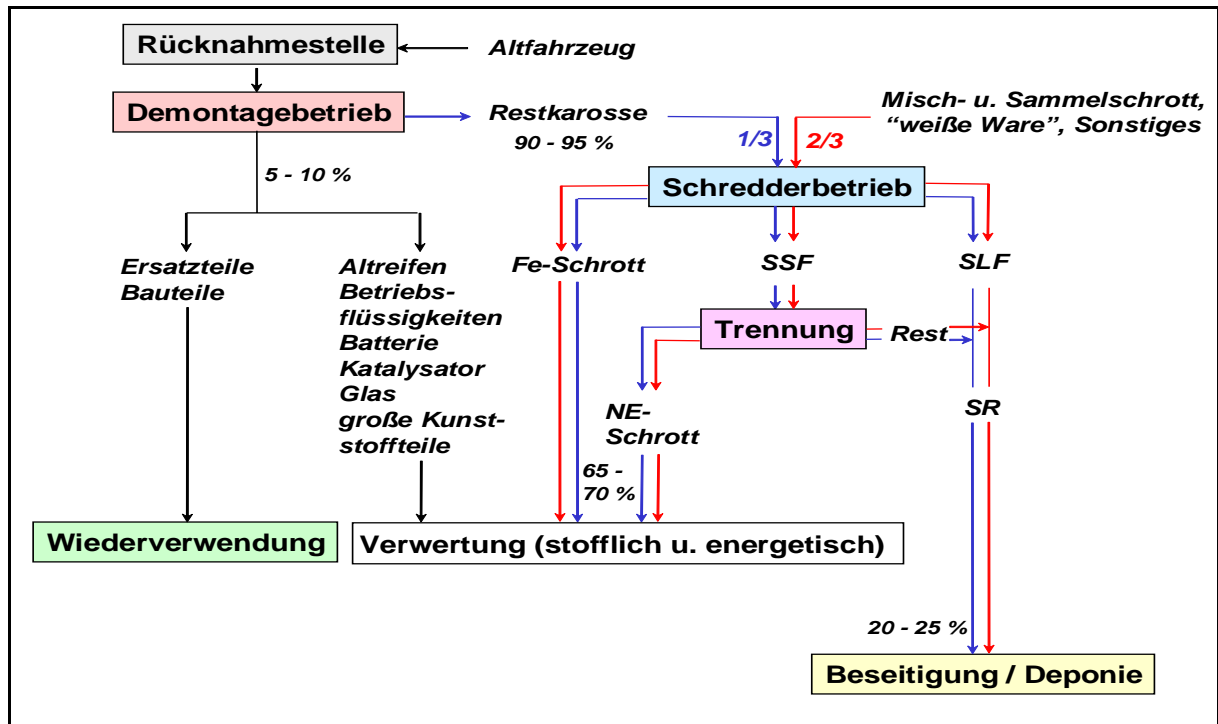


Abbildung 3: Aktuelle Stoffströme bei der Entsorgung und Verwertung von Altfahrzeugen

Entsprechend Abbildung 3 werden derzeit 20 - 25 Gew. % der Altfahrzeugmasse - der nichtmetallische Anteil der Schredderschwerfraktion (SSF) und die Schredderleichtfraktion (SLF) - nicht verwertet, sondern als s.g. Schredderrückstände (SR) beseitigt. Sofern diese Materialien nicht aufgrund von Verunreinigungen durch Kohlenwasserstoffe, PCB und Schwermetalle als gefährlicher Abfall eingestuft werden, erfolgt die Ablagerung auf Hausmülldeponien [Rudolph]. Die laut AltautoV für 2002 vorgegebenen Ziele wurden nie erreicht.

Die Einhaltung der Vorgaben der AltfahrzeugV ab dem 01. Januar 2006 erscheint nach einem Szenario, das auf der aktuellen Zusammensetzung von Altfahrzeugen basiert, möglich: Bis zu 70 Gew.-% der Altfahrzeugmasse können nach Zerkleinerung der Restkarosse im Schredder als Fe-Schrott oder NE-Schrott einer stofflichen Verwertung zugeführt werden; die konsequente Entnahme bzw. Demontage von (nichtmetallischen) Materialien und Bauteilen erschließt weitere 10 Gew.-% für die Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung.

Die geforderten 80 Gew.-% der Altfahrzeugmasse für die Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung erscheinen in der Summe dieser Maßnahmen realisierbar. Für eine vollständige Erfüllung der Vorgaben aus der AltfahrzeugV müssen darüber hinaus aber noch weitere 5 Gew. % der Altfahrzeugmasse, d.h. rund 25 % der Schredderrückstände, einer Verwertung zugeführt werden. Die entsprechenden Stoffflüsse sind Abbildung 4 zu entnehmen.

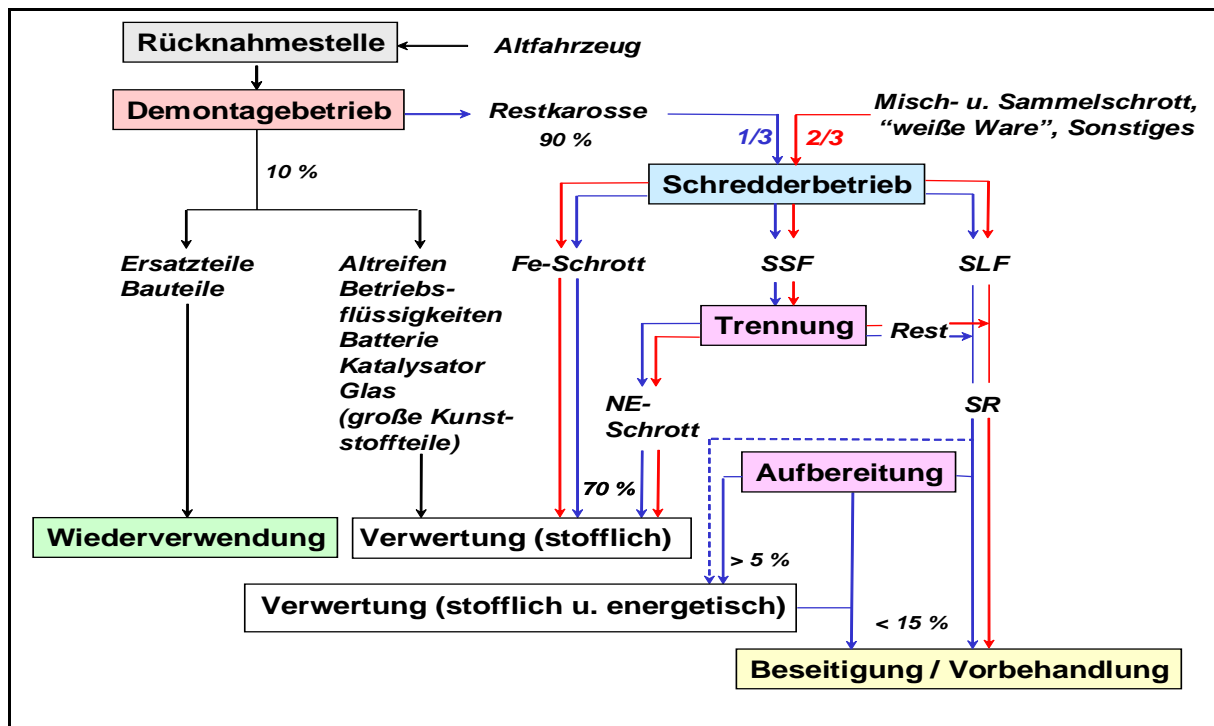


Abbildung 4: Stoffströme ab 2006 bei der Entsorgung und Verwertung von Altfahrzeugen

Die Quoten bzgl. Verwertung und Beseitigung von Altfahrzeugen ändern sich zum 1. Januar 2015 erneut: Um eine Quote bzgl. der Wiederverwendung und stofflichen Verwertung von 85 Gew.-% der Altfahrzeugmasse zu erreichen müssen neben Fe- und NE-Schrott (ca. 70 Gew.-% bezogen auf die Altfahrzeugmasse - entsprechend der aktuellen Werkstoffzusammensetzung von Altfahrzeugen) sowie den Anteilen aus der Vorbehandlung und Demontage der Altfahrzeuge (10 Gew.-%) dann auch bereits Anteile der Schredderrückstände zwingend einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Um aber zu gewährleisten, dass nur max. 5 Gew.-% der Altfahrzeugmasse beseitigt werden, muss darüber hinaus rund die Hälfte der Schredderrückstände in geeigneter Weise verwertet werden. Die entsprechenden Stoffflüsse sind Abbildung 5 zu entnehmen.

Die nicht verwerteten Anteile der Schredderrückstände müssen in beiden Szenarien in geeigneter Weise behandelt werden, um die Vorgaben der AbfAbfV zu erfüllen.

Bzgl. der Verwertung von Schredderrückständen sind bereits einzelne Verfahren und Anlagen mit begrenzten Kapazitäten verfügbar (mechanische Aufbereitung und Verwertung von Teilfraktionen bei Galloo, "rohstoffliche Verwertung bei SVZ-Schwarze Pumpe) bzw. befinden sich in der Entwicklung (SiCon-Verfahren, Salyp); Einzelheiten bzgl. dieser Verfahren werden in Kapitel 5 dargestellt. Die thermische Behandlung von Schredderrückständen in der MVA (zusammen mit Hausmüll) bzw. in speziellen Verfahren (TwinRec-Verfahren) ist technisch möglich und auch bereits großtechnisch erprobt. Die Bedingungen bzgl. der Anerkennung dieser thermischen Verfahren als Maßnahme zur Verwertung sind aber noch umstritten (siehe Kapitel 3.7).

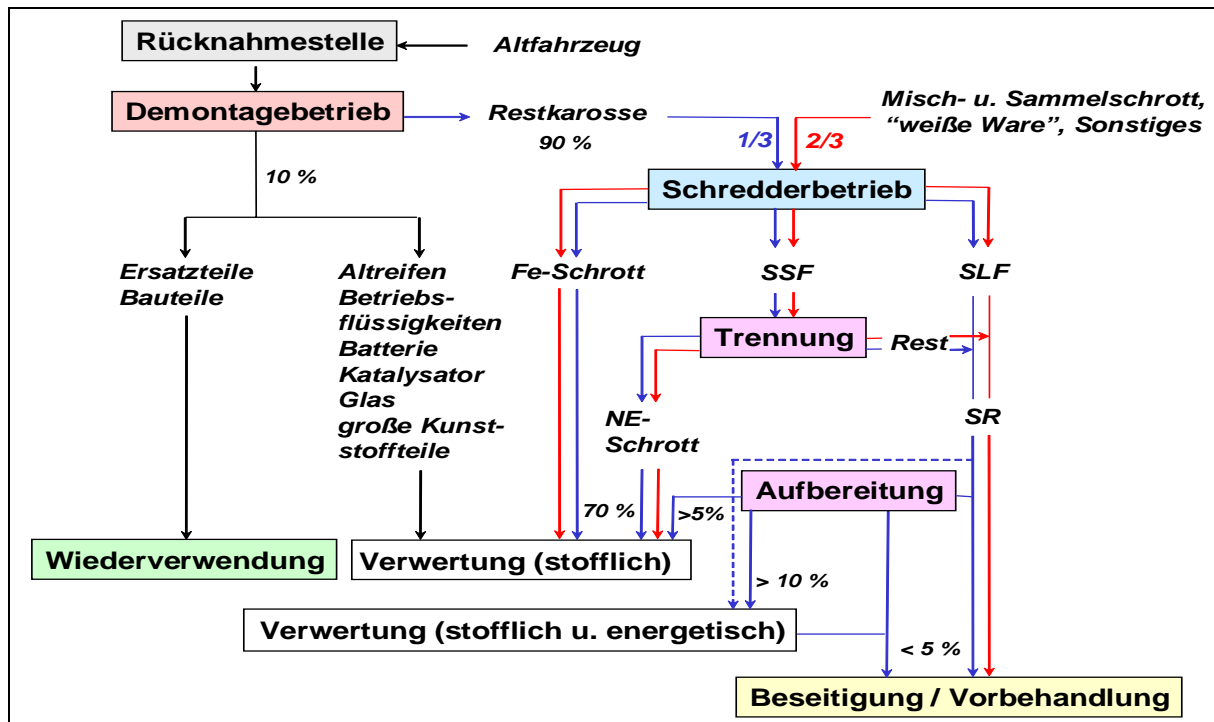


Abbildung 5: Stoffströme ab 2015 bei der Entsorgung von Altfahrzeugen

Die hier vorgestellten Szenarien berücksichtigen allerdings nicht den kontinuierlichen Wandel, dem die im Automobilbau verwendeten Materialien unterliegen. So geht z.B. der Einsatz von Stahl und anderen Metallen zurück, während verstärkt Kunststoffe, Glas und Aluminium eingesetzt werden. Die Veränderungen der Vergangenheit und die zukünftigen Veränderungen werden in Kapitel 4 erläutert.

Die Veränderung der Werkstoffzusammensetzung trägt auch dem Bemühen der Automobilbauer Rechnung, durch "Leichtbau" im Kraftfahrzeug die Einhaltung verschärfter ökologischer Standards, z.B. beim Kraftstoffverbrauch und den Emissionen zu erreichen. Die Forderungen der AltfahrzeugV nach stofflicher Verwertung wird in diesem Zusammenhang als kontraproduktiv bewertet, da insbesondere durch den Einsatz und die stoffliche Verwertung von Stahl die Quotenerfüllung erleichtert, ein effektiver Leichtbau allerdings behindert wird [Friedl 1] [Schneider].

Die mittlere Nutzungsdauer eines Pkw bis zur Stilllegung und abschließenden Entsorgung beträgt ca. 14 Jahre; die aus der aktuellen Praxis der Demontage- und Schredderbetriebe verfügbaren Daten spiegeln also den Materialeinsatz im Automobilbau in der zweiten Hälfte der 80iger Jahre wieder. Zum Stichtag 01. Januar 2006 muss aber eine Betrachtung der Verwertungsquoten dem Fahrzeugbau und den verwendeten Materialien nach dem Stand Technik in der ersten Hälfte der 90iger Jahre und später gerecht werden: Unter Berücksichtigung dieser veränderten Gegebenheiten, insbesondere aufgrund des dann bereits deutlich verminderten Fe-Schrott-Anteils, wäre es zur Erfüllung der Verwertungsquoten bereits ab 01. Januar 2006 unumgänglich, erhebliche Anteile der Schredderrückstände für eine stoffliche Verwertung zu erschließen; durch die verschärften Vorgaben müsste dann ab 2015 sogar ein Großteil der Schredderrückstände stofflich verwertet werden.

Tatsächlich werden aber im Rahmen der AltfahrzeugV lediglich Nachweise über die Wiederverwendung und stoffliche Verwertung im Rahmen der Demontage sowie die Verwertung oder stoffliche Verwertung der Schredderrückstände gefordert; ein Nachweis

über die Quotenerfüllung bzgl. der stoffliche Verwertung der Fe- und NE-Metallanteile wird nicht verlangt. Der Anteil der Fe- und NE-Metalle in Altfahrzeugen wird statt dessen formal auf 70 Gew.-% festgesetzt und dieser auch bzgl. der Quotenerfüllung zum Ansatz gebracht, sofern diese Materialien nach dem Schredder abgetrennt und der stofflichen Verwertung zugeführt werden [Begründung-AfG].

Setzt man voraus, dass die Erfüllung der Quoten für den Bereich Demontage durch eine zumutbare Demontagetiefe von Baugruppen und Materialien erreicht werden kann, so muss sich das weitere Augenmerk bzgl. der Möglichkeiten zur Einhaltung der AltfahrzeugV ausschließlich auf die Verfahren zur Aufbereitung und/oder Verwertung der Schredderrückstände konzentrieren.

Die Richtlinie 2000/53/EG favorisiert im Grundtenor die "Wiederverwendung" und das "Recycling" im Sinne der stofflichen Verwertung von Bauteilen, Materialien und Betriebsflüssigkeiten. Darüber hinaus enthält die Richtlinie allerdings keine definierten Kriterien für die Einteilung und Abgrenzung verschiedener Verwertungsmaßnahmen, so dass im Zuge der nationalen Umsetzungen nicht automatisch von vergleichbaren Standards ausgegangen werden kann; in Brüssel wird aber zumindest über ein Arbeitspapier bzgl. der einheitlichen Berechnung der Verwertungsquoten diskutiert [EUWID 3 2003].

Eine ähnliche Situation ist auch bzgl. der nationalen Umsetzung der europäischen Deponie-Richtlinie [1999/31/EG] anzutreffen: Im Rahmen der hierbei geforderten "Behandlung" der abzulagernden Abfälle kommen solche Verfahren gleichrangig in Frage, die das Volumen oder die gefährlichen Eigenschaften der Abfälle vermindern, ihre Handhabung erleichtern oder ihre Verwertung begünstigen. Für die "Behandlung" geeignet können physikalische, thermische, chemische und biologische Verfahren als auch die Sortierung sein; weitergehende Standards werden nicht definiert.

Sofern es nicht gelingt, eine europaweite Harmonisierung der Begriffe "Behandlung" und "Verwertung" herbeizuführen und auch identische europäische Standards bzgl. der jeweiligen technischen Verfahren zu schaffen, werden zwangsläufig die erheblichen Kostenunterschiede für die Entsorgung und Verwertung von Abfällen bzw. Schredderrückständen zwischen einzelnen Mitgliedstaaten die Materialflüsse im Bereich Altfahrzeug-Verwertung lenken: Schon ab dem 01. Juni 2005 wäre damit zu rechnen, dass "deutsche" Altfahrzeuge bzw. die Restkarossen nach einer Vorbehandlung innerhalb der EG gehandelt und an solchen Schredderstandorten weiter behandelt werden, an denen weiterhin eine kostengünstige Behandlung und Beseitigung der anfallenden Schredderrückstände möglich ist (siehe Kapitel 5.9). Deutsche Schredderbetriebe dagegen müssten die Rückstände (nicht nur aus dem Altfahrzeugbereich) z.B. über die MVA entsorgen: Da die Nachfrage nach thermischen Behandlungskapazitäten die tatsächlich verfügbaren Kapazitäten zu diesem Zeitpunkt aber deutlich übersteigen wird [Prognos 2], ist mit entsprechend hohen Kosten, speziell für heizwertreiche Abfallmaterialien wie Schredderrückstände zu rechnen; ein erheblicher Wettbewerbsnachteil für die deutschen Betriebe [Prognos 1][Prognos 2][LAGA 2]. Die Vorgaben der AltfahrzeugV und die Notwendigkeit der Verwertung von Schredderrückständen ab dem 01. Januar 2006 würden die Situation weiter verschärfen.

4 Aufkommen und Eigenschaften von Schredderrückständen

Eine Betrachtung und Diskussion der Möglichkeiten zur Verwertung der Schredderrückstände aus Altfahrzeugen setzt in jedem Fall die Kenntnis des Materialaufkommens, der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung sowie der Eigenschaften dieser Materialien voraus.

4.1 Materialaufkommen

Das Aufkommen an Schredderrückständen aus Altfahrzeugen wird wesentlich durch die Anzahl der zur Entsorgung anstehenden Altfahrzeuge und das jeweilige Alter dieser Fahrzeuge beeinflusst. Das Alter bzw. das Baujahr der zu entsorgenden Altfahrzeuge hat aufgrund der fortschreitenden Veränderung des Werkstoffeinsatzes im Automobilbau erheblichen Einfluss auf die spezifische Menge und die Zusammensetzung der Schredderrückstände pro Altfahrzeug.

Statistiken bzgl. der Stilllegung von Altfahrzeugen werden für Deutschland durch das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) erhoben. Die Zahlen für verschiedene Kraftfahrzeugarten und Kraftfahrzeuganhänger sowie ihre Entwicklung seit 1970 werden in Tabelle 4 dargestellt. Die Summe der im Sinne der AltfahrzeugV relevanten Altfahrzeuge – Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit höchstens 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz sowie Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einem Höchstgewicht bis zu 3,5 t – für Deutschland und das Jahr 2003 werden vom Verband der Europäischen Automobilindustrie (ACEA) mit rund 3,4 Mio. angegeben [ACEA]. Bis 2020 wird mit einer maximalen Anzahl an stillgelegten Pkw von 4,1 Mio. jährlich gerechnet [Kim].

Das Gewicht von Kraftfahrzeugen als auch der Werkstoffeinsatz unterliegt fortwährenden Veränderungen. Die Veränderung des Fahrzeuggewichts kann sehr gut am VW Golf dokumentiert werden: Der erste VW Golf von 1974 hatte ein Gewicht von 790 kg; ein VW Golf des Baujahres 2003 ist im Mittel rund 400 kg schwerer. Ein VW Golf mit großem Triebwerk, Allradantrieb usw. hat ein Leergewicht von bis zu 1565 kg [Trechow].

Von der Automobilindustrie werden zur Reduzierung bzw. zur Vermeidung einer weiteren Gewichtszunahme unterschiedliche Konzepte verfolgt, die sich in zwei grundlegende Möglichkeiten aufteilen lassen: Als erste Möglichkeit bietet sich ein konstruktiver Leichtbau mit Materialstärken an, die der Belastung des Bauteils angepasst sind. Die Verwendung von leichten Materialien stellt die zweite Möglichkeit dar; der Einsatz von Aluminium, Magnesium oder Verbundwerkstoffen ist technisch möglich, verursacht aber auch höhere Kosten. Kunststoffen als universellen und preiswerten Werkstoffen kommt in diesem Zusammenhang eine herausragende Rolle zu [VKE 2].

Die Veränderungen im Fahrzeugleergewicht sowie in der Zusammensetzung der verwendeten Materialien in Abhängigkeit vom Baujahr bzw. der Bauperiode werden in Tabelle 5 dargestellt.

Aus Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass die Kraftfahrzeuge in den vergangenen vier Jahrzehnten schwerer geworden sind. Außerdem ist der Anteil an Eisen/Stahl rückläufig während der Einsatz von NE-Metallen, Kunststoffen, Glas sowie Textilien zugenommen hat.

Andere Quellen gehen von z.T. deutlich höheren "Kunststoffanteilen" in Kraftfahrzeugen aus: Für das Baujahr 1995 werden bereits 13 Gew.-% [Friedl 1] bzw. für das Baujahr 1997 14 Gew.-% [Kim] angegeben. Diesen Quellen zufolge soll der Kunststoffanteil bis zum Jahr 2005 auf 15 bzw. 19 Gew.-% ansteigen; für das Jahr 2015 wird sogar ein Anteil von 25 Gew.-% erwartet [Kim]. Allerdings ist bzgl. dieser Angaben die Abgrenzung zwischen Kunststoffen und den sonstigen Materialien wie Textilien, Verbundstoffe und auch Elastomeren nicht eindeutig.

Tabelle 4: Stilllegungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern in Deutschland [KBA b]

Jahr	Krafträder	Personen-kraftwagen	Kraft-omni-busse	Lastkraft-wagen	Zugma-schinen	Übrige Kraftfahr-zeuge	Kraft-fahrzeuge zusammen	Kraftfahr-zeug-anhänger
1970	54 197	931 376	2 555	91 926	36 633	4 455	1 121 142	34 026
1975	67 243	1 353 473	3 325	112 513	51 779	7 070	1 595 403	53 525
1980	87 515	1 938 600	4 701	106 179	50 193	9 227	2 196 415	59 837
1985	155 153	1 776 114	4 287	98 920	36 206	13 183	2 083 863	59 642
1990	151 460	2 632 716	4 880	115 427	48 864	22 282	2 975 629	75 161
1993	106 958	2 252 601	5 358	115 422	47 022	22 464	2 549 825	86 894
1994	114 373	2 695 384	7 159	137 995	50 355	26 138	3 031 404	111 924
1995	120 342	2 949 704	7 325	143 398	53 887	29 266	3 303 922	127 255
1996	120 186	3 145 259	6 601	164 371	58 869	32 420	3 527 706	132 389
1997	126 681	3 392 358	6 327	185 507	60 068	35 264	3 806 205	138 178
1998	144 776	3 468 798	5 591	188 723	61 788	38 396	3 908 072	142 787
1999 *)	178 625	3 290 203	5 419	198 064	62 419	41 423	3 776 153	161 118
2000	107 054	2 554 137	5 375	165 745	46 400	28 530	2 907 241	106 200
2001	144 176	3 023 777	6 815	211 691	59 052	35 096	3 480 607	135 286
2002	166 980	3 215 926	6 757	252 985	65 388	40 140	3 748 176	150 629

*) Berichtigte Zahlen.

Tabelle 5: Zusammensetzung der im Automobilbau verwendeten Materialien in Abhängigkeit vom Baujahr [Nathani]

Baujahr		1960 - 1975	1976 - 1980	1981 - 1985	1986 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000
Leergewicht	kg	887	887	910	933	955	1000
Eisen/Stahl	%	78	78	73	67,5	62,4	57,5
NE-Metalle	%	2,4	2,4	4,3	6,1	8,0	10
Kunststoffe	%	2,3	2,3	3,6	4,9	6,2	7,5
Textilien/Verbund	%	2,9	2,9	4,0	5,1	6,2	7,3
Reifen/Gummi	%	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9
Glas	%	2,4	2,4	3,1	3,8	4,5	5,2
Betriebsflüss.	%	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6
Sonstiges	%	5,4	5,4	5,3	6,0	6,1	6,0

Die werkstoffliche Zusammensetzung von Neufahrzeugen unterschiedlicher Baujahre zeigt auch Tabelle 6; weitere Angaben bzgl. der Zusammensetzung von alten Kraftfahrzeugen enthält Tabelle 7. Auch diese Zahlen lassen den bereits zuvor beschriebenen Trend beim Werkstoffeinsatz im Automobilbau erkennen.

Tabelle 6: Materialzusammensetzung von Neufahrzeugen [Christen]

Hauptwerkstoffgruppen	1990	1995	2000	2005
Stahl und Eisen	68 %	63 %	60 %	58 %
Leichtmetalle	5,5 %	7 %	8 %	10 %
Kunststoffe	10,5 %	12 %	14 %	16 %
Andere (Glas, Gummi)	18 %	18 %	17 %	16 %

Tabelle 7: Weitere Angaben zu Bestandteile von Altfahrzeugen [EP]

Baujahr		ca. 1980
Eisen/Stahl	%	71
Aluminium	%	2,2
Andere ME-Metalle	%	1,1
Zink	%	0,5
Blei	%	1,0
Gummi	%	9,0
Kunststoffe	%	6,0
Kupfer/Messing	%	0,6
Glas	%	3,0
Sonstiges	%	5,6

Die Verwendung von Aluminium in Automobilen hat stetig zugenommen. Neben den klassischen Anwendungen im Bereich Motor und Fahrwerk/Räder wurde in den letzten Jahren der Karosseriebau als neues Einsatzfeld erschlossen (Abbildung 6); eine weitere Steigerung wird erwartet.

Nicht alle in Deutschland stillgelegten Altfahrzeuge werden auch in Deutschland entsorgt oder in inländischen Schredderbetrieben behandelt. Tatsächlich werden aktuell nur rund 1,2 – 1,5 Mio. Altfahrzeuge in Deutschland entsorgt [Clüsserath][ACEA], mehr als die Hälfte wird exportiert und im Ausland im Straßenverkehr genutzt oder dort entsorgt. Genaue Zahlen zum Verbleib der stillgelegten Fahrzeuge sind nicht verfügbar. Allerdings wird für die zukünftige Entwicklung eine "Absättigung" der ausländischen Märkte und in der Folge ein überwiegender Verbleib (85 % der Altfahrzeugmasse) sowie die inländische Entsorgung der Altfahrzeuge prognostiziert [Kim].

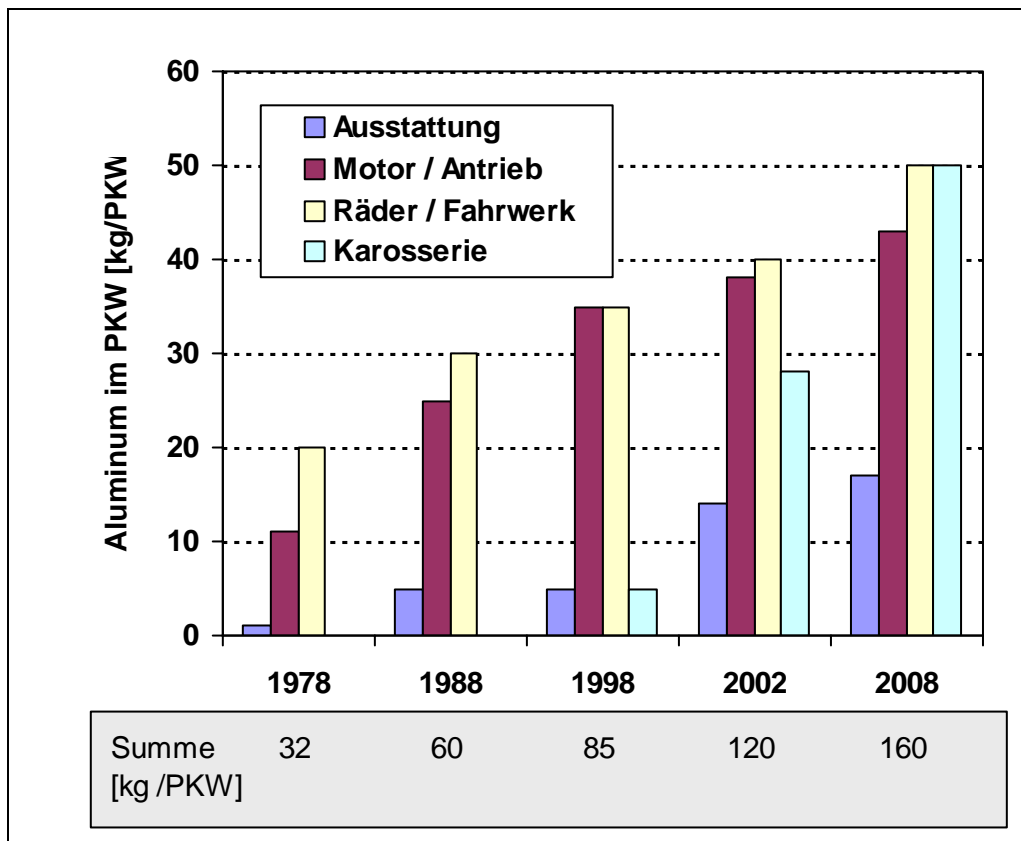


Abbildung 6: Aluminium im europäischen Automobilbau [Jopp]

Die inländisch entsorgten Altfahrzeuge werden i.d.R. vorbehandelt (Trockenlegung) und einer Teildemontage unterschiedlicher "Tiefe" unterzogen; die Masse der in deutschen Schredderbetrieben behandelten Altfahrzeuge bzw. Restkarossen ist daher gegenüber den Leergewichten der Altfahrzeuge reduziert. Bei Versuchen im Jahre 1999 wurde ein mittleres Leergewicht der untersuchten Altfahrzeuge von 903 kg gemessen; das Leergewicht laut Fahrzeugbrief war im Mittel mit 907 kg angegeben. Das mittlere Gewicht einer Restkarosse nach Vorbehandlung und Demontage betrug 647 kg [ARGE-Altauto].

Das durchschnittliche Alter der zugelassenen Pkw in Deutschland beträgt 7,4 Jahre (s. Abbildung 7) [KBA c]; im Mittel werden Pkw nach rund 14 Betriebsjahren stillgelegt und ggf. entsorgt [Wallau 2]. Ein Vergleich mit Tabelle 5 (Baujahr 1981-1985) bestätigt das durch die ARGE-Altauto im Großversuch ermittelten Leergewicht der entsorgten Altfahrzeuge.

Der Verband der Automobilindustrie VDA ermittelte für das Jahr 1997 eine Masse von rund 550.000 t Restkarossen im Schreddervormaterial deutscher Anlagen; unter Berücksichtigung des o.g. durchschnittlichen Gewichts einer Restkarosse nach Trockenlegung und Demontage entspricht dies nur einer Anzahl von rund 840.000 Altfahrzeugen. Zusätzlich wurden aber rund 310.000 t Restkarossen in Schredderanlagen der europäischen Nachbarländer verwertet; dies entspricht weiteren 480.000 Altfahrzeugen [VDA 3].

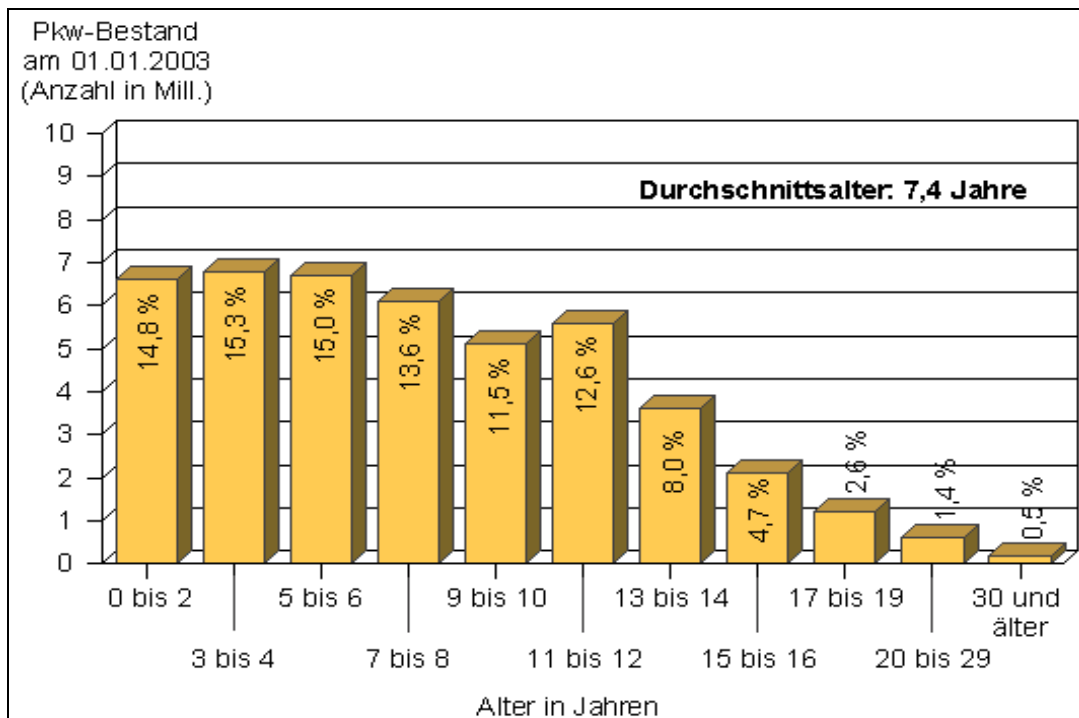


Abbildung 7: Das Alter der Personenkraftwagen [KBA c]

Aus der Entsorgung der Altfahrzeuge resultiert ein spezifischer Anteil der Altfahrzeugmasse von 18 - 25 Gew. % bislang nicht verwerteter Schredderrückstände: Der VDA schätzt auf der Basis der o.g. Untersuchung das Aufkommen an Schredderrückständen aus Altfahrzeugen für das Jahr 1997 auf 140.000 - 170.000 t/a; dies entspricht 25 – 30 Gew.-% der Masse der Restkarossen bzw. 18 - 22 Gew.-% des Leergewichts der entsorgten Altfahrzeuge. Diese Angaben werden an anderer Stelle bestätigt [Thomé-K.] [Wallau 1] [Rudolph] [Kim] [Clüsserath] [Burazerovic]. Im Rahmen der Konzeptentwicklung für die Entsorgung von Schredderrückständen (RESH) in der Schweiz geht man von höheren Anteilen (28,5 Gew.-%) der Schredderrückstände an der Altfahrzeugmasse aus [Stücheli].

Die Gesamtmenge an Schredderrückständen in Deutschland wurde für 1997 auf rund 320.000 t geschätzt [Schenk]. Für das Jahr 2000 wurde von einer Gesamtmenge von 300.000 – 500.000 t ausgegangen [Clüsserath]; europaweit fielen im gleichen Jahr 1,6 – 2,0 Mio. t Schredderrückstände an [Rudolph][Vollrath 2][Friedl 2].

Rund 2/3 dieser Menge wurde der Entsorgung von Altfahrzeugen zugeschrieben. Dies entspricht den an anderer Stelle bezifferten Mengen von 180.000 – 250.000 t Schredderrückständen aus Altfahrzeugen für das Jahr 2000 [Friedl 1]. Nach aktuellen Erhebungen fielen in 2003 rund 450.000 t Schredderrückstände in deutschen Schredderbetrieben an [BDSV 2]; werden die zuvor genannten Mengenverhältnisse auf diese Gesamtmenge übertragen, so ist davon auszugehen, dass aus der Verwertung von Altfahrzeugen aktuell bis zu 300.000 t Schredderrückstände resultieren.

Zum Vergleich: Die Masse der im Jahre 2000 bundesweit entsorgten Siedlungsabfälle betrug rund 45 Mio. t; Schredderrückstände machen rund 1 % dieser Abfallmasse aus. Die gesamte Masse der in 2000 entsorgten Abfälle (incl. Bauschutt, Bodenaushub, Bergematerial und Abfällen aus dem produzierenden Gewerbe) betrug rund 400 Mio. t [UBA].

Eine Prognose der zukünftigen Entwicklung des Aufkommens an Schredderrückständen ist aufgrund der vielfältigen Einflüsse technologischer als auch sozioökonomischer Natur kaum möglich (siehe Abschnitt 4.3). Aufgrund des veränderten Werkstoffeinsatzes und vor dem Hintergrund steigender Fahrzeuglöschungen sowie einer überwiegend inländischen Entsorgung der Altfahrzeuge wird verschiedentlich von einem Anstieg der Schredderrückstandsmengen bis zum Jahr 2015 auf bis zu 1,25 Mio. t/a ausgegangen [Kim].

4.2 Materialeigenschaften

Im Zuge der Aufbereitung der Restkarossen im Schredder werden die Metallanteile weitgehend separiert und einer Verwertung zugeführt. Die nicht-metallischen Materialien aus den Restkarossen verbleiben dagegen im Schredderrückstand; die Zusammensetzung der Schredderrückstände korrespondiert mit der zum Zeitpunkt der Fahrzeugherstellung üblichen Menge und Zusammensetzung der nicht-metallischen Werkstoffe im Fahrzeugbau .

Wesentliche Anteile der Schredderrückstände sind:

- organische Materialien, insbesondere Kunststoffe (chlorfreie Thermoplaste, PVC, Schaumstoff, andere Thermo- und Duroplaste), Elastomere (Gummi) und sonstige Organik (Textilien, Holz, Papier, Lackbestandteile),
- Metalle (Eisen, Kupfer, Aluminium)
- mineralische Materialien (Glas, Keramik)
- andere Bestandteile und Fremdstoffe (Sand, Staub, Rost, Blei, Zink, u.a.).

Die Anteile dieser Materialien in Schredderrückständen und die ermittelten Bandbreiten werden in Tabelle 8 dargestellt. Die aus dem realen Betrieb von Schredderanlagen bekannte Zusammensetzung der Rückstände unterliegt großen Schwankungen und ist weitgehend von den aktuell im Schredder verarbeiteten Materialien und der Schreddertechnologie abhängig: Restkarossen aus Altfahrzeugen stellen nur einen Teil des s.g. Schreddervormaterials dar; der Anteil der Restkarossen wird mit 27 Gew.-% [Wallau 1] bis 34 Gew.-% [Schenk] angegeben. Daneben werden bis zu 44 Gew.-% Misch- und Sammelschrott, 15 – 23 Gew.-% "weiße Ware" und bis zu 16 Gew.-% sonstige Materialien eingesetzt. Einzelne Stellen gehen von einem Massenanteil der Restkarossen im Schreddervormaterial von bis zu 85 % aus [VKE 1]. Die Zusammensetzung des Schreddervormaterials unterliegt den jeweiligen Marktbedingungen und kann im Einzelfall auch erheblich von den angegebenen Bandbreiten abweichen.

Tabelle 8: Stoffliche Zusammensetzung der Schredderrückstände

Stoffgruppe	Anteile bzw. Bandbreiten (Gew.-%)				
	[Thomé-K.]	[Goldmann]	[Schenk]	[Spanke]	[Orth]
chlorfreie Thermoplaste (Formteile, Folien, Styropor, u.a.)	13	32	30 – 48	21 - 63	32
PVC (Folien, Kunstleder, Unterbodenschutz, Kabelisolation)	6				
andere Thermo- und Duroplaste	3				
Schaumstoff (Polyurethan)	7				
Elastomere (Gummi)	23	23	10 – 32		25
Holz / Zellulose (Holz, Pappe, Papier)	4	10	4 – 26	2 – 13	8
Faser- und Bezugsstoffe (Textilfasern, Glasfaser, Leder, u.a.)	6			4 – 29	
Eisen	13	13	0,5 – 20	1 – 23	2
Kupfer	1				
Aluminium	3				
Lackbestandteile	3	18	3 – 10	<1 – 15	4
Glas und Keramik	13		3 – 16	1 – 16	
Andere Bestandteile und Fremdstoffe (Sand, Rost, Blei, Zink)	5		10 – 32	5 - 19	

Ergebnisse der Elementaranalyse von Schredderrückständen bzw. die Bandbreite der Werte aus den Jahren 1997 und 1998 sind in Tabelle 9 dargestellt. Ergebnisse und Bandbreiten der Brennstoffanalyse von Schredderrückständen werden in Tabelle 10 zusammengefasst.

Aufgrund des hohen Organikgehalts (bis zu 75 Gew.-% der Schredderrückstände entfallen auf Kunststoffe, Elastomere, Cellulose und andere organische Materialien) ist die Gesamtheit des Materials durch hohe Heizwerte geprägt; der durchschnittliche Heizwert wird im Bereich von 13 – 17 MJ/kg angegeben [Schaub-3] [Stücheli] [Pruckner]. Durch mechanische Aufbereitung der Schredderrückstände können die organischen Materialanteile aufkonzentriert werden; der Heizwert dieser Teilfraktion beträgt über 23 MJ/kg [Laage]. Einige Metalle sind in wirtschaftlich relevanter Größenordnung enthalten (Fe, Cu, Al); andere Metalle (Pb, Zn) dagegen sind Schadstoffe und können zusammen mit diversen organischen Schadstoffen (u.a. KW, PCB) zu einer Einstufung der Schredderrückstände als besonders überwachungsbedürftiger Abfall führen. Die Mineralfraktion stellt keine wirtschaftlich relevante Komponente dar.

Tabelle 9: Elementinhaltsstoffe von Schredderrückständen

Element		[Spanke]		[BMU 1]	[Mark]
		Mittelwert	Wertespanne	Wertespanne	Wertespanne
Anorganika:					
Al	g/kg	20,0	10 – 25	10 – 22	7 – 30
As	mg/kg	28,5	20 – 35		20 – 50
Ca	g/kg	40,3	30 – 60	34 – 44	
Cd	mg/kg	61,2	40 – 80		2 – 85
Co	mg/kg	100	25 – 160		13 – 33
Cr	g/kg	1,2	0,34 – 1,3		1,0 – 1,8
Cu	g/kg	11,4	3,3 – 30	15 – 42	3,7 – 26,3
Fe	g/kg	141	50 – 240	57 – 210	33 – 180
Hg	mg/kg	2,1	1 – 3		1 – 49
K	g/kg	2,7	1,5 – 3		
Mn	g/kg	1,0	0,4 – 1,4		0,4 – 1,1
Mg	g/kg	8,7	8 – 10	5 – 8	0,5 – 8
Na	g/kg	7,1	1 – 12	28 – 31	
Ni	g/kg	1,2	0,4 – 2,8		0,4 – 1,5
Pb	g/kg	5,1	0,3 – 14	3 – 16	1,1 – 11,0
Si	g/kg	76,5	45 – 110	57 – 110	
Sn	mg/kg	66,7	25 – 90		130 – 400
Ti	mg/kg	0,06	0,01 – 0,1		
Zn	g/kg	9,0	2 – 13	5 - 18	4,6 – 20,0
Organika:					
PCB	mg/kg	9,7	5 – 14		
KW	mg/kg	16,3	10 – 28		

Durch konsequente und vollständige Entnahme von Betriebsmittel bzw. -flüssigkeiten aus den Altfahrzeugen kann die PCB- und KW-Belastung weitestgehend reduziert werden. Im Rahmen der Versuche zur mechanischen Aufbereitung der Schredderrückstände in der Pilotanlage WESA 4 wurden in den verschiedenen Teilfraktionen PCB-Belastungen von maximal 0,5 ppm gemessen [Pruckner]. Dieser Effekt einer konsequenten Vorbehandlung der Altfahrzeuge hat aktuell auch dazu beigetragen, dass Schredderrückstände in Rheinland-Pfalz in der Regel nicht weiter als besonders überwachungsbedürftiger Abfall eingestuft werden. Lediglich bei signifikant erhöhten PCB-Gehalten über 50 ppm erfolgt die Einstufung nach dem Schlüssel 19 10 03 für besonders überwachungsbedürftige Abfälle [EUWID 32 2003].

Tabelle 10: Brennstoffanalysen von Schredderrückständen

Parameter		[Spanke]		[BMU 1]	[Mark]
		Mittelwert	Wertespanne	Wertespanne	Wertespanne
Feuchtigkeit	Gew.-%	6,7	0,1 – 18	1,0 - 10,0	2 – 5
Aschegehalt	Gew.-%	52,7	25 – 80	32,4 – 63,4	28 – 61
Heizwert (H _n)	MJ/kg	13	7 – 26	9,5 – 21,5	9 – 20
C	Gew.-%	32,6	20 – 47	13,7 – 52,1	
Cl	Gew.-%	1,8	0,5 – 3	0,3 – 2,8	0,5 – 2,0
H	Gew.-%	4,1	2 – 6	1,4 – 7,0	
N	Gew.-%	0,9	0,2 - 1,8	0,5 – 1,8	
O	Gew.-%	7,0	3 – 11		
S	Gew.-%	0,6	0,1 – 1,4	0,4 – 1,1	

Die mittlere Dichte der SR bewegt sich im Bereich um 0,3. Rund 50 Gew.-% des Materials entfällt auf das Feinkorn < 10 mm; der heterogene Materialmix zeichnet sich durch innige Verfilzung aus und ist nur eingeschränkt sortierfähig [Pruckner]. Die Ergebnisse der Siebanalyse verschiedener Schredderrückstände und die beispielhafte Analyse der Siebinhaltsstoffe einer einzelnen Charge werden in Tabelle 11 dargestellt. Während im Feinkorn Sand, Glas und z.B. auch Rostpartikel angereichert sind und so für den hohen Asche- und Fe-Gehalt dieser Fraktion verantwortlich zeichnen, weisen die größeren Kornfraktionen nur geringe Unterschiede bzgl. der Inhaltsstoffe auf.

Tabelle 11: Siebanalyse und Siebinhaltsstoffe von Schredderrückständen [Spanke]

Kornfraktion (mm)	Massenanteil Mittelwert (%)	Massenanteil Wertespanne (%)	Gehalt Asche (%)	Gehalt Al (%)	Gehalt Cl (%)	Gehalt Cu (%)	Gehalt Fe (%)
> 80	6	3 – 15	28	3,8	3,9	0,3	4,7
40 – 80	8	5 – 34	33	5,1	4,2	0,4	7,5
20 – 40	14	10 – 30	35	4,8	3,5	0,6	11,0
10 – 20	12	9 – 14	40	3,6	3,1	0,8	13,0
5 – 10	10	4 – 12	58	2,3	2,7	1,6	19,0
2 – 5	10	5 – 12	64	2,1	2,8	2,4	17,0
1 – 2	10	5 – 14	70	1,0	1,9	1,6	18,0
< 1	30	10 - 40	81	0,7	0,6	0,6	23,3
Summe	100		60	2,3	2,2	1,0	17,2

An verschiedenen Stellen wurden Versuche zur weitergehenden mechanischen Trennung von Schredderrückständen unternommen. In Tabelle 12 sind die Ergebnisse einer ersten "Monitoringphase" der Pilotanlage WESA 4, und in Tabelle 13 die Versuchsergebnisse im Rahmen der Entwicklung eines Verfahrens an der Universität Witten-Herdecke dargestellt.

Die angereicherten organischen Teilfraktionen aus beiden Verfahren zeichnen sich gegenüber dem Ausgangsmaterial durch deutlich erhöhte Heizwerte aus. Bezüglich eines Einsatzes dieser Materialien z.B. als Ersatzbrennstoff oder als Ersatzreduktionsmittel in Hochöfen sind aber auch die gemessenen Gehalte an Metallen, insbesondere Cu, sowie Cl zu beachten [Buchwalder] [Gudenau].

Trotz vergleichbarer Aufbereitungstechnik ergaben sich z.T. erhebliche Unterschiede in der Trennleistung bzgl. organischen und anorganischen Anteilen der Schredderrückstände; eine Ursachenforschung kann an dieser Stelle nicht geleistet werden.

Tabelle 12: Massenbilanzierung für die Aufbereitung von Schredderrückständen in der Pilotanlage WESA 4 [Pruckner]

		SLF	Organ. 1	Organ. 2	Organ. 3	Mineral. < 1,8 mm	Mineral. > 2 mm	Mineral. Gesamt	Fe	Cu
Anteil	Gew.-%	100	32,8	11,2	3,0	10 - 17	28 – 42	45	2,5	1
Asche	Gew.-%	33,1	25,7	12,4	19,8	79,9	23,5	56,4		
Heizwert	MJ/kg	17,6	20,05	22,7	22,35	6,3	24,0	14,95		
"Fasern"	Gew.-%		41	52	65			13		
Feinfrak.	Gew.-%		57	5	5			27		
Holz	Gew.-%		2	13	10			5		
Elastom.	Gew.-%			18	13			19		
Durom.	Gew.-%			11	7			32		
Al	Gew.-%			1	1			2		
Cu	Gew.-%							1		
Glas	Gew.-%							1		
Chlor	Gew.-%	1,05	0,76	1,59	2,84	1,1	2,975	2,32		
PCB	mg/kg	< 0,01	0,49	0,35	0,46	< 0,01	< 0,01	< 0,01		

Tabelle 13: Ausgesuchte Parameter der erzeugten "Flusen"-, "Granulat"- und "Sand"-Fraktion sowie der Fe-Anteile aus der Aufbereitung von Schredderrückständen im Verfahren der Universität Witten-Herdecke [Rudolph]

Parameter		"Granulat"	"Flusen"	"Sand"	Fe
Massenanteil	Gew.-%	25 - 35	25 - 35	25 - 35	3 - 8
Feuchte	Gew.-%	0,5 - 1,0	0,5 - 1,5		
Heizwert	MJ/kg	25 - 32	22 - 26		
Asche	Gew.-%	15 - 25	10 - 20		
C und H	Gew.-%	55 - 65	50 - 60		
S	Gew.-%	< 0,4	< 0,4		
Cl	Gew.-%	0,6 - 1,8	0,7 - 1,3		
Fl	Gew.-%	< 0,06	< 0,06		
Zn	Gew.-%	0,1 - 0,5	0,2 - 0,4		
Cu	Gew.-%	0,1 - 0,3	0,2 - 0,4		
Cr	Gew.-%	0,01 - 0,02	0,02 - 0,03		
Ni	Gew.-%	0,02 - 0,04	0,02 - 0,06		
Sn	Gew.-%	0,01 - 0,02	0,01 - 0,02		

4.3 Zukünftige Veränderungen bei Aufkommen und Eigenschaften

Die Zusammensetzung der Shredderleichtfraktion wird zukünftig von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Neben Veränderungen im technischen Bereich des Automobilbaus werden politische Diskussionen und neue rechtliche Vorschriften sowie das sozioökonomische Umfeld die Mengen der in Deutschland anfallenden Schredderrückstände und deren Zusammensetzung bestimmen.

Im Fall der technischen Veränderungen ist zunächst davon auszugehen, dass sich die in Abschnitt 4.1 vorgestellten Veränderungen der Vergangenheit auch zukünftig fortsetzen werden. Die prozentualen Kunststoff- und Leichtmetallanteile werden auch zukünftig in Neuwagen ansteigen. Damit verändert sich in der Folge auch die spezifische Menge an Schredderrückständen pro Altfahrzeug und die stoffliche Zusammensetzung dieses Materials: Der Anteil der Schredderrückstände am gesamten Schreddervormaterial betrug 1997 rund 25 Gew.-%; rund die Hälfte der Schredderrückstände waren Kunststoffe und Elastomere. Für das Jahr 2015 wird von einem Anteil der Schredderrückstände (bezogen auf das Schreddervormaterial) von rund 34 Gew.-%, und einem Anteil der Kunststoffe und Elastomere im Schredderrückstand von bis zu 70 Gew.-% ausgegangen [Kim].

Außerdem werden verstärkt elektronische Systeme im Automobilbau eingesetzt werden. Die heute zum Teil verwendete "elektronische" Bedienung des Fahrzeugs über Displays und die relativ neue Technologie der Navigationssysteme werden im Fall einer Entsorgung des Fahrzeugs die entstehenden Stoffströme beeinflussen.

Ein weiteres Beispiel in diesem Zusammenhang ist der Ersatz des hydraulischen Bremsystems durch ein elektronisches System, das ohne Bremsflüssigkeit, dafür aber mit elektromechanischen Bauteilen arbeitet.

Neben diesen technischen Veränderungen wird sich die Diskussion um Grenzwerte bei Kraftfahrzeugen, verbunden mit steuerlichen (finanziellen) Lenkungsmaßnahmen des Gesetzgebers, auf die Nutzungsdauer der Kraftfahrzeuge im Inland auswirken. Auch aktuelle Diskussionen, die bislang noch nicht zu konkreten Entscheidungen geführt haben (wie z.B. Dieselruß) dürften sich auf die Preise auf dem Gebrauchswagenmarkt und somit den Verbleib gebrauchter Fahrzeuge beeinflussen.

Auf der anderen Seite existiert in den Gebieten der ehemaligen Sowjetunion, des nahen und mittleren Ostens und in Afrika ein Nachholbedarf bei der Motorisierung der Gesellschaft. Es ist also anzunehmen, dass Altfahrzeuge mit einem hohen Schadstoffanteilen zukünftig verstärkt ins Ausland exportiert werden. Vor diesem Hintergrund entsteht das Problem, in wie weit die statistischen Vorhersagen über das Alter von Altkraftfahrzeuge korrekt sein werden.

Die zukünftige Zusammensetzung der Shredderleichtfraktion wird zusätzlich durch den immer schnelleren Modellwechsel der Fahrzeughersteller beeinflusst. Die bereits beschriebenen Trends, verstärkter Kunststoffeinsatz, Verwendung von Aluminium, elektrischen Bauteilen usw. dürften sich im Vergleich zu technischen Änderungen in der Vergangenheit schneller auf die zu entsorgenden Altkraftfahrzeuge auswirken.

Gesteigerte Kosten der Altfahrzeug-Verwertung werden aber zwangsläufig auch den nochmals gesteigerten Export von Altfahrzeugen als Gebrauchtwagen zur Folge haben. In diesem Zusammenhang ist sicherlich die Rolle der neuen Mitgliedsstaaten der EG im Rahmen der Osterweiterung besonders hervorzuheben.

5 Entsorgung von Schredderrückständen

In der Vergangenheit wurden, wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, Schredderrückstände auf Deponien entsorgt. Diese Entsorgungsmaßnahme wird im Fall der Schredderrückstände allgemein als Beseitigung eingestuft.

Die zukünftigen Anforderungen aufgrund der verschiedenen gültigen Verordnungen (siehe Kapitel 3) erfordern dagegen zukünftig eine verfahrenstechnische Behandlung der Schredderrückstände. Als Ziele einer Behandlung der Schredderrückstände sind im Sinne der AbfAbIV die weitgehende Mineralisierung organischer Anteile und möglichst vollständige Zerstörung von (organischen) Schadstoffen zu gewährleisten. Vor dem Hintergrund der AltfahrzeugV ist dagegen eine möglichst weitgehende Verwertung der Schredderrückstände bzw. der verschiedenen Materialanteile zu erreichen.

Für eine Behandlung der Schredderrückstände kommen verschiedene Verfahren in Frage: Dies sind einerseits die Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung als klassische Verfahren der thermischen Abfallbehandlung. Andererseits sind mechanische Aufbereitungsverfahren wie Zerkleinerung und Trennung durch Sichtung, Siebung oder Sortierung möglich. Zusätzlich sind Kombinationen der thermischen und mechanischen Verfahren möglich.

Dagegen dürften biologische Verfahren oder Spezialverfahren, wie die Nassoxidation oder Verfahren mit Fluiden im überkritischen Zustand kaum angewendet werden. Auch chemisch-physikalische Verfahren, wie Trocknung, Neutralisation, oder Destillation erscheinen nicht sinnvoll. Eine Entgiftung, oft den chemisch-physikalischen Verfahren zugeordnet, beruht auf einer Schadstoffszerstörung durch eine chemische Reaktion, die bei Schwermetallen nicht möglich ist.

In diesem Abschnitt wird eine Auswahl der möglichen Behandlungsverfahren vorgestellt. Neben einer Verfahrensbeschreibung werden der aktuelle Entwicklungsstand und, falls vorhanden, Angaben zu den Behandlungskosten mitgeteilt. Außerdem wird versucht - in Abhängigkeit der vorliegenden Informationen - die Leistungsfähigkeit des jeweiligen

Verfahrens im Hinblick auf die Einhaltung der in den Rechtsvorschriften vorgegebenen Verwertungsquoten abzuschätzen.

5.1 Mitverbrennung MVA

Für die Verbrennung von Siedlungsabfällen werden in der Regel so genannte Rostfeuerungen eingesetzt. In Deutschland sind 57 thermische Abfallbehandlungsanlagen mit diesem Feuerungstyp ausgerüstet. Lediglich an vier 4 Standorten werden andere Technologien eingesetzt. Für den zukünftigen Neubau von Abfallverbrennungsanlagen wird fast ausschließlich die Rostfeuerung eingesetzt werden. [Bart]

Die einzelnen Komponenten einer Abfallverbrennungsanlage mit Rostfeuerung sind in Abbildung 8 schematisch dargestellt. Die Abfälle werden in der Regel mit Straßenfahrzeugen oder mit der Bahn angeliefert; auf der Anlage werden sie zunächst im Bunker (1) gelagert. Die Zuführung der Abfälle in den Feuerraum (3) erfolgt mit einem Kran, der eine Aufgabevorrichtung beschickt. Im Feuerraum laufen auf dem Rost die einzelnen der Verbrennungsteilschritte Trocknung, Entgasung, Vergasung und Verbrennung ab. Die erforderliche Verbrennungsluft wird von unten durch den Rost zugeführt.

Als fester Rückstand bei der Verbrennung entsteht die so genannte Rostasche, die am Ende des Rosts in ein Wasserbad fällt. Mit einer Fördereinrichtung wird die Rostasche zum Schlackebunker (2) transportiert.

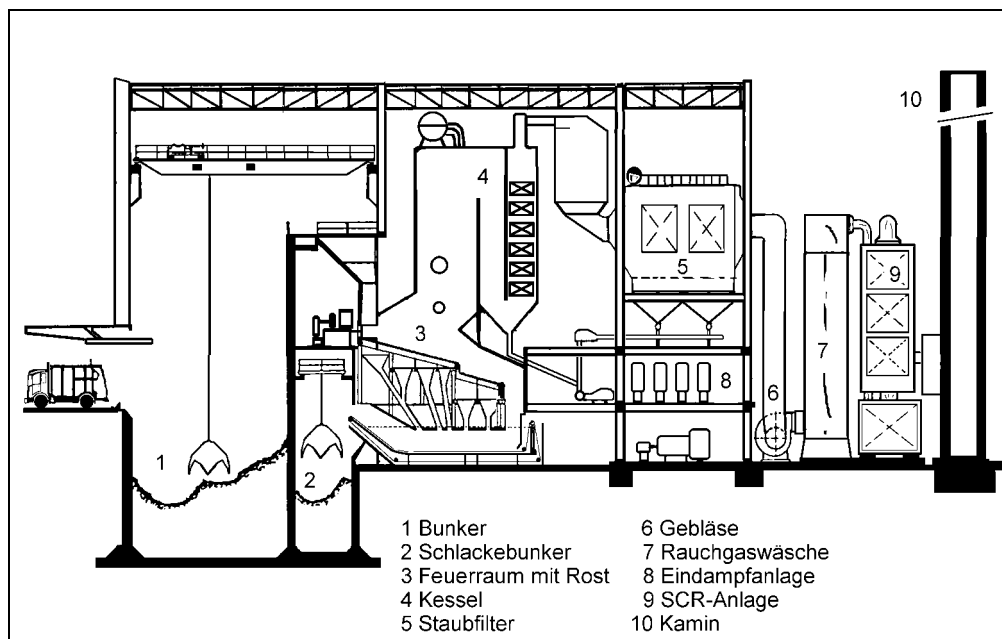


Abbildung 8: Schematischer Schnitt durch eine Rostfeuerung

Die Verbrennung des Abfalls führt zur Entstehung von Rauchgasen, deren Wärmeenergie an den Wasserdampfkreislauf des Kessels (4) abgeführt wird. Im Feuerraum liegen die Gastemperaturen oberhalb von 850 °C, am Kesselende treten die Rauchgase mit ca. 200 °C aus.

Zur Abscheidung von Schadstoffen aus dem Rauchgas dient die nachfolgende Rauchgasreinigungsanlage. Entsprechend dem Beispiel in Abbildung 8 besteht die Rauchgasreinigung aus einem Staubfilter (5), einer anschließenden Rauchgaswäsche (7) und einer Verfahrensstufe zur Beseitigung von Stickoxiden (9). Zur Überwindung der Druckverluste in der Anlage sind Gebläse (6) installiert. Die gereinigten Rauchgase werden über einen Kamin (10) an die Atmosphäre abgegeben.

Abweichend von der Darstellung in Abbildung 8 kann die Rauchgasreinigung großtechnischer Abfallverbrennungsanlagen aus anderen verfahrenstechnischen Stufen aufgebaut sein. Es existieren sowohl aufwendigere als auch einfachere Kombinationen. Die aufwendigeren Rauchgasreinigungsanlagen mit höheren Investitionskosten weisen im Vergleich mit den einfacheren Kombinationen einen geringeren Bedarf an Hilfschemikalien und außerdem geringerer Rückstandsmengen auf [Achterbosch].

Neben den gemischten Siedlungsabfällen werden in den Abfallverbrennungsanlagen in Abhängigkeit von der Betriebsgenehmigung für die Anlage auch andere Abfälle verbrannt. In den entsprechenden Annahmekatalogen können durchaus über 100 Abfallarten aus der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] aufgeführt sein. Tabelle 14 enthält eine Zusammenstellung der entsprechenden Obergruppen aus der Abfallverzeichnis-Verordnung, die auf Abfallannahmekatalogen von Abfallverbrennungsanlagen basiert.

Tabelle 14: Obergruppen nach [AAV] für in Rostfeuerungen mit verbrannte Abfälle (Auswahl; Bezeichnungstext teilweise gekürzt).

Code	Bezeichnung
02	Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft usw.,
03	Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Möbeln, Papier usw.
04	Abfälle aus der Leder-, Pelz- und Textilindustrie
07	Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen
08	Abfälle aus Herstellung, Anwendung usw. von Farben, Klebstoffen usw.
09	Abfälle aus der fotografischen Industrie
11	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisen-hydrometallurgie
12	Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen
15	Verpackungsabfall, Aufsaugmassen, Wischtücher, Filtermaterialien und Schutzkleidung (a. n. g.)
17	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
18	Abfälle aus der humanmedizinischen oder tierärztlichen Versorgung und Forschung
19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Wasseraufbereitung

Aus Tabelle 14 ist zu entnehmen, dass neben Siedlungsabfällen in Abfallverbrennungsanlagen sehr unterschiedliche Abfallstoffe eingesetzt werden können. Schredderrückstände, in Tabelle 14 der Obergruppe 19 zugeordnet (siehe Abschnitt 3.2), werden in Abfallverbrennungsanlagen im technischen Maßstab mit verbrannt. Außerdem wurden verschiedene Messprogramme zur wissenschaftlichen Dokumentation durchgeführt.

In Deutschland werden zum Beispiel am Standort Würzbug die Schredderrückstände mit verbrannt. Für die Jahre 1993 bis 1996 betrug der Massenanteil zwischen 3,6 und 8,4 % bezogen auf den Jahresdurchschnitt. Im Rahmen von wissenschaftlichen Begleitunter-

suchungen am Standort Würzburg wurde der Massenanteil der Schredderrückstände auf 24 bis 31 % erhöht. Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann unter anderem folgendes festgehalten werden: Die Reingasemissionen und der Anlagenbetrieb wurden nicht beeinflusst. Die hohen Anteile der Schredderrückstände führten zu einem Anstieg der Schwermetallkonzentrationen in den Kessel- und Flugaschen, die aber unabhängig von der Mitverbrennung als Sonderabfall entsorgt werden müssen. Für weitere Details wird auf die Literatur [Mark] [Kleppmann] verwiesen.

In der Schweiz werden die Schredderrückstände seit mehreren Jahren gemeinsam mit Hausmüll in Abfallverbrennungsanlagen behandelt; die Ablagerung der Schredderrückstände auf Deponien ist dort seit 1996 verboten. Aufgrund der Schwermetallanreicherung im Filterstaub und in der Schlacke wurde von der schweizerischen Regierung der Anteil der Schredderrückstände bei der Mitverbrennung auf 5 % begrenzt [Schaub 2]. Diese Anreicherungen von Schwermetallen haben auch dazu beigetragen, dass die Mitverbrennung in Abfallverbrennungsanlagen nur als Übergangslösung angesehen wird. Die geplante Inbetriebnahme einer eigens zur Behandlung von Schredderrückständen vorgesehenen Anlage ist für Ende 2005 terminiert [EUWID 12 2003]. Bei der Suche nach einem besseren Entsorgungsweg standen thermische Verfahren im Mittelpunkt, wobei besonderer Wert auf die Wiedergewinnung von Wertstoffen (Metallen) sowie die Erzeugung einer schadstoffarmen und auslaugungssicheren glasartigen Schlacke gelegt wurde. (siehe Abschnitt 5.4).

Die Mitverbrennung der Schredderleichtfraktion in Abfallverbrennungsanlagen wird zukünftig durch zwei Aspekte maßgeblich beeinflusst werden: Zum einen ist die Diskussion um den Status von Abfallverbrennungsanlagen als Verwertungsanlagen von Bedeutung. Die Auswirkungen von zwei Urteilen der Europäischen Gerichtshofs, die auch den Status von Abfallverbrennungsanlagen betreffen, sind in diesem Zusammenhang von sehr großer Bedeutung (siehe Kapitel 3.7).

Der zweite Aspekt erfasst den zukünftigen Bedarf an thermischen Abfallbehandlungskapazitäten aufgrund der Anforderungen durch die Abfallablagereungs-Verordnung [AbfAbIV]. Obwohl bereits neue thermische bzw. mech.-biologische Abfallbehandlungsanlagen errichtet werden, ist voraussichtlich zum Stichtag 01. Juni 2005 von einem Kapazitätsdefizit von 1,3 – 7,9 Mio t/a auszugehen [LAGA 2] [SRU] [DBT]. Nach aktuellen Prognosen stehen in 2005 für mindestens 4,2 Mio. t Siedlungsabfälle keine geeigneten Behandlungskapazitäten zur Verfügung [Prognos 2]:

- Einer "optimistischen" Anlagenkapazität (MVA und MBA) von rund 22 Mio. t/a Abfall steht eine Abfallmenge von 20,5 Mio. t/a (Haus- und Sperrmüll, Baustellen und Gewerbeabfälle zur Beseitigung) gegenüber.
- Zusätzlich sind rund 6,1 Mio. t "Sekundärabfälle" aus der MBA und der Aufbereitung von Gewerbeabfällen zu entsorgen.
- Bis zu 2,5 Mio. t/a Klärschlämme (TS) müssen mittelfristig außerhalb der Landwirtschaft verwertet (z.B. als Ersatzbrennstoff) oder thermisch behandelt werden.
- Rund 3,0 Mio. t "Sekundärbrennstoffe" aus Abfall jährlich werden bereits heute in Kraftwerken und industriellen Produktionsanlagen verwertet.
- Eine Menge von ca. 1,7 Mio. t Gewerbeabfall/a wird gegenwärtig – eventuell nach einer Aufbereitung – in der MVA "verwertet" und konkurriert mit den zu beseitigenden Abfällen um die begrenzten Kapazitäten.

Konkret bedeutet dies, dass die bestehenden thermischen Abfallbehandlungskapazitäten in 2005 durch das zu erwartende "Überangebot" an Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen vollständig ausgelastet sein werden.

Vor diesem Hintergrund bleibt die Frage, ob - und wenn ja, zu welchen Kosten - zukünftig Kapazitäten in Abfallverbrennungsanlagen für die Mitverbrennung von Schredderrückständen zur Verfügung stehen werden: Der überwiegende Teil dieser Anlagen ist für einen Heizwert der zu behandelnden Abfälle im Bereich von 8.000 bis max. 11.000 kJ/kg ausgelegt (Hausmüll bzw. Restabfall). Innerhalb dieses "Fensters" ist ein maximale Massendurchsatz und damit ein insbesondere auch wirtschaftlich optimierter Betrieb der Anlage gewährleistet. Heizwertreiche Abfälle wie z.B. Schredderrückstände werden verdrängt bzw. können den MVA nur noch unter Zahlung erhöhter Gebühren angedient werden. Auf Anfragen wurden von MVA-Betreibern Behandlungspreise von mindestens 150 EUR/t Schredderrückstände genannt [BDSV 2]. Die Kosten für die Entsorgung von Schredderrückständen aus der Schweiz in deutschen MVA werden mit ca. 240 EUR/t (incl. Transport) angegeben [Schaub 4].

5.2 Das TwinRec-Verfahren von EBARA

Das japanische Unternehmen EBARA mit dem Stammsitz in Tokio ist weltweit im Maschinen- und Anlagenbau tätig. Tochterfirmen mit unterschiedlichen Aufgaben gibt es u. a. in Deutschland und in der Schweiz. Eine Sparte des Unternehmens bildet die Umwelttechnik, der u.a. die Errichtung von Wirbelschichtanlagen für die thermische Behandlung von Abfällen zugeordnet ist. Im Mittelpunkt steht hier die "Twin-internally Cicularing Fluidized Bed Furnace" (TIF) -Technologie. In Japan werden entsprechende Anlagen zur Verbrennung von Haus- und Gewerbeabfall, Industrieschlämmen, Restkunststoffen, Holzspänen und Klärschlamm eingesetzt [Kitzerow].

In Europa ist diese Technologie unter dem Markennamen ROWITEC bekannt geworden, u.a. mit der Firma Lurgi als Kooperationspartner. Die Abbildung 9 zeigt den typischen Aufbau eines ROWITEC-/TIF-Feuerraums.



Abbildung 9: Schema der ROWITEC-/ TIF-Feuerung [LEE]

Die ROWITEC-/TIF- Feuerung wird in über 137 Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen eingesetzt [Fujimura]. Unter anderem wurden in Gien (Frankreich), Mulhouse (Frankreich), Moskau (Rusland), Madrid (Spanien) und Macomer (Italien) entsprechende Anlagen errichtet [LEE]. Als Vorteile der ROWITEC-/TIF- Feuerung im Vergleich zu anderen Wirbelschichtfeuerungen werden u.a. die Austragsunterstützung für nicht brennbare Bestandteile durch den geneigten Düsenboden und ein geringerer Aufbereitungsaufwand auf ≤ 300 mm für den Brennstoff genannt [Kitzerow].

Ausgehend von der ROWITEC-/TIF-Feuerung wurde von EBARA die "Twin Internally Circulating Fluidized Gasifier" (TIFG) -Technologie entwickelt, die in Europa als TwinRec-Verfahren bezeichnet wird. Am Standort Sodegaura in Japan wurde bereits von 1996 bis 1997 eine Pilotanlage mit einem Durchsatz von 7 t pro Tag betrieben. Eine weitere Pilotanlage mit einer täglichen Kapazität von 24 t wurde 1997 am Standort Fujisawa errichtet [EBARA 1] [Ando].

Für die TwinRec-Technologie kam es 1998 zu einer Zusammenarbeit zwischen der Firma ABB Alstom Power und Ebara [Fujimura]. Dieses Lizenzabkommen wurde 2002 mit dem Verkauf der waste-to-energy-Aktivitäten von Alstom Power beendet, so dass zukünftig EBARA das TwinRec-Verfahren selbst vermarkten kann [Ando].

Derzeit existieren 14 großtechnische TwinRec-Anlagen [Selinger 1]. Die größte Anlage mit einer Kapazität von 1.500 t/d wird in Kuala Lumpur (Malaysia) gebaut werden [EBARA 2]. Diese Anlagen werden für die thermische Behandlung u.a. von Hausmüll, Kunststoffabfällen und von Schredderrückständen eingesetzt [EBARA 1].

Der prinzipielle Aufbau des TwinRec-Verfahrens ist in Abbildung 10 dargestellt. Es handelt sich um eine Kombination aus einem Wirbelschichtvergaser, dessen prinzipieller Aufbau der ROWITEC-/TIF- Feuerung entspricht, und einer nachgeschalteten Zyklonbrennkammer.

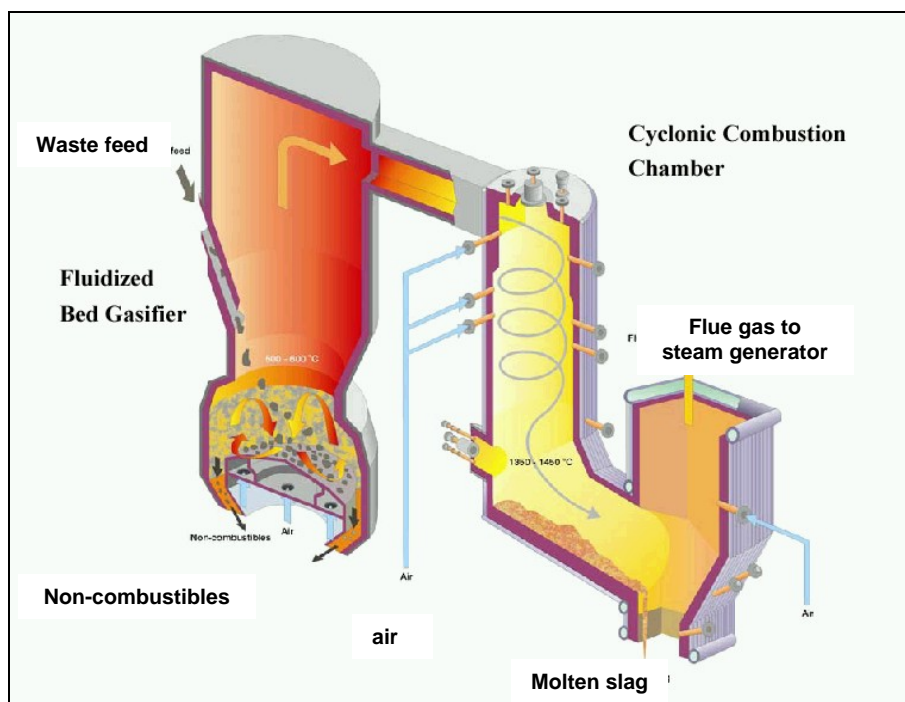


Abbildung 10: Schema des TwinRec-Verfahrens [Fujimura]

Die Abfälle werden dem Wirbelschichtvergaser ohne weitere Aufbereitung zugeführt, lediglich sperrige Abfälle müssen auf eine Größe von weniger als 300 mm zerkleinert werden [Selinger 2]. Die Vergasung erfolgt bei Temperaturen im Bereich von 500 bis 600 °C mit Luft als Vergasungsmittel. Die Luftzahl wird mit 0,1 bis 0,3 angegeben [EBARA 3].

Fossile Brennstoffe oder Sauerstoff werden nicht benötigt. Die Hauptaufgabe des Vergasers ist die Abtrennung der brennbaren Bestandteile und Staub von den inerten Bestandteilen und Metallpartikeln. Metalle wie Eisen, Kupfer und Aluminium sowie andere nicht brennbare Stoffe verlassen den Vergaser als Bettasche. Die Metalle sind weder oxidiert noch mit den inerten Bestandteilen zusammengesintert, so dass eine einfache mechanische Trennung möglich ist [Selinger 1].

Das im Vergaser entstehende Brenngas, das auch feine Partikel enthält, verlässt den Vergaser und wird in der nachgeschalteten Zyklonbrennkammer bei 1350 bis 1500 °C unter Zugabe von Sekundärluft ausgebrannt. Die entstehende schmelzflüssige Schlacke wird einem Wasserbad zugeführt. Aufgrund der Betriebsweise des TwinRec-Verfahrens entsteht eine Schlacke mit sehr guten Elutionseigenschaften, so dass die Vorschriften für eine Verwendung der Schlacke im Baubereich eingehalten werden [Selinger 1].

Im Vergleich zu Abbildung 10 sind in anderen Publikationen [EABRA-3] [Selinger 1] Zyklonbrennkammern mit einer etwas abgeänderten Bauform zu finden.

Die weiteren Verfahrensstufen für die Rauchgasreinigung und die Wertstoffrückgewinnung sind in Abbildung 11 am Beispiel der Anlage in Aomori / Japan dargestellt, die im Februar 2000 in Betrieb genommen wurde. An diesem Standort werden in 2 Linien zusammen 20 t/h Schredderrückstände (Anteil 70-100 %) und Klärschlamm (Anteil 0-30 %) eingesetzt [EBARA 4].

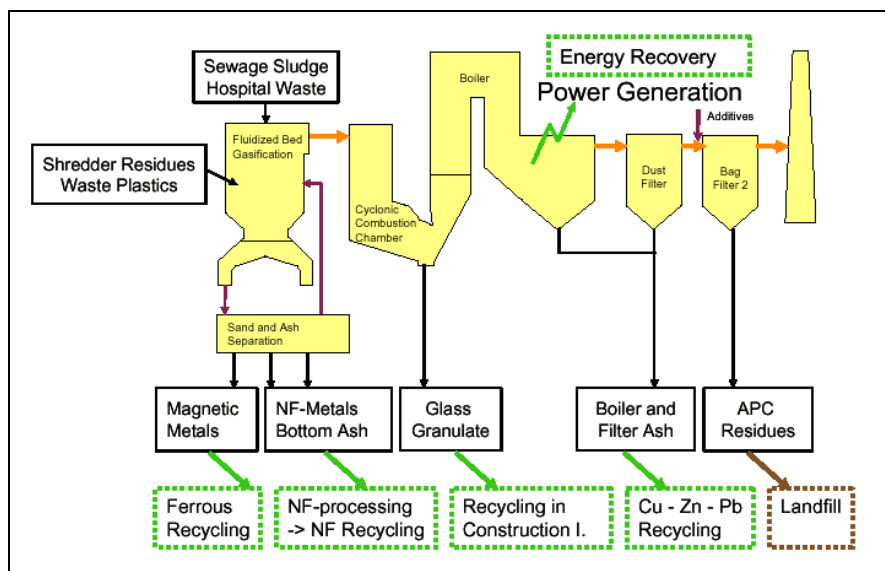


Abbildung 11: Schematischer Aufbau der Anlage am Standort Aomori (Japan) [Selinger 1]

Die in der Zyklonbrennkammer entstehenden Rauchgase durchströmen einen Kessel zur Nutzung der Wärmeenergie und werden anschließend der Rauchgasreinigung zugeführt, die aus einer Staubabscheidung und einem trockenen System zur weiteren Schadstoffabscheidung

besteht. Es ist vorgesehen, aus der Kessel- und Flugasche Metalle zurück zu gewinnen [Selinger 1].

Nach Ansicht des Herstellers EBARA werden unter Berücksichtigung auch der stofflich verwertbaren Anteile der Schredderrückstände durch das TwinRec-Verfahren die in der AltfahrzeugV ab 01. Januar 2015 geforderten Quoten zur Verwertung (> 95 %) und stofflichen Verwertung (> 85 %) - jeweils bezogen auf die Masse der Altfahrzeuge – eingehalten. In Abbildung 12 sind die verwertbaren Masseanteile aus den einzelnen Verfahrensstufen für eine Prozesskette zur Verwertung von Altfahrzeugen unter Einbindung des Twin-Rec-Verfahrens dargestellt.

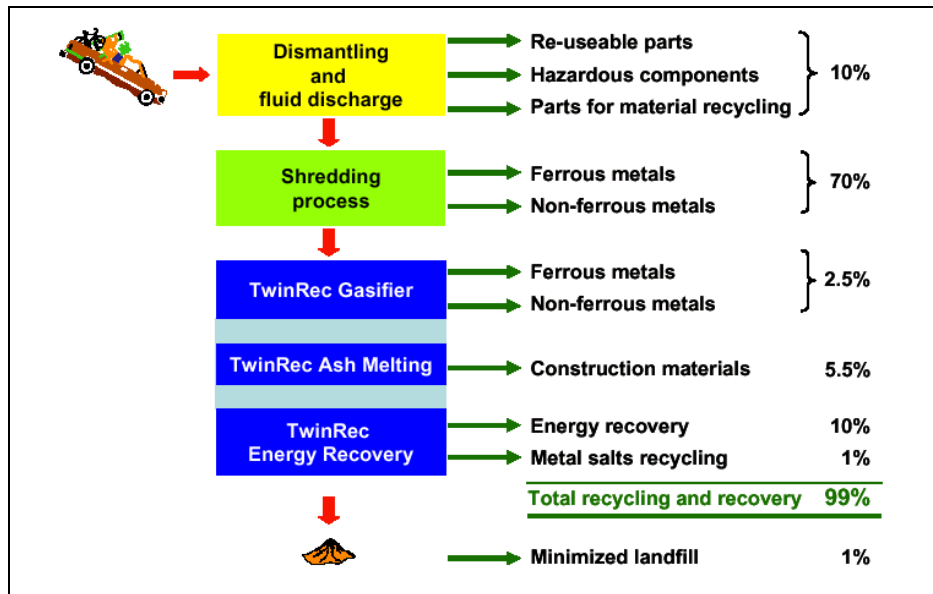


Abbildung 12: Recyclingquoten für die Kombination aus Demontage, Schredderprozess und TwinRec-Verfahren [Selinger 1]

Betrachtet man das TwinRec-Verfahren im Zusammenhang mit den Urteilen des Europäischen Gerichtshofes genauer, so bleiben aus juristischer Sicht Zweifel an der Akzeptanz als reines Verwertungsverfahren. Aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Diskussion über die Urteile des Europäischen Gerichtshofes ist an dieser Stelle keine gesicherte Einordnung des TwinRec-Verfahrens als Verwertungsverfahren möglich. (Siehe Abschnitt 3.7)

Die Kosten der Behandlung bzw. Verwertung von Schredderrückständen mit dem TwinRec-Verfahren belaufen sich nach Angaben von EBARA auf 100 - 200 EUR/t SR, abhängig von der jeweiligen Anlagenkapazität. Angegebene werden auch Kosten im Bereich von 20 bis 50 EUR pro Altkraftfahrzeug [Selinger 2].

5.3 Thermische Behandlung Lahntal-Großfelden

Die "Marburger Rohstoffverwertung - Johannes Völker GmbH" betreibt am Standort Lahntal-Großfelden eine Schredderanlage mit einer Kapazität von 50 t/h; der Anlageninput besteht zu 40-50 % aus Restkarossen und zu 50 bis 60 % aus Mischschrott. Für die anfallenden Schredderrückstände, jährlich 15.000 bis 16.000 t, wurde für den Standort eine Verbrennungsanlage konzipiert, die in die bestehenden Anlagen der Firma integriert werden

sollte. Die Anlage wurde auch als "Lahntaler industrielle Stoffstrommanagement-Anlage zur Produktionsintegrierten Reststoffverwertung - LISA 21" bezeichnet [Kuchta].

Der Aufbau der geplanten Verbrennungsanlage für Schredderrückstände entsprach weitgehend dem einer konventionellen Abfallverbrennungsanlage. Es war eine Rostfeuerung mit wassergekühltem Rost und Dampferzeuger zur Wärmenutzung vorgesehen. Die Abscheidung der sauren Schadstoffe aus dem Rauchgas sollte mit einem trockenen Rauchgasreinigungsverfahren durch Zugabe von Kalkhydrat und Herdofenkoks und anschließende Abscheidung in einem Gewebefilter geleistet werden. Für die Minderung der Stickoxidemissionen war das selektive, nichtkatalytische Verfahren (SNCR) geplant [Kuchta].

Aus dem Verbrennungsrückstand sollten mit Überbandmagneten Eisenmetalle abgetrennt werden. In Abhängigkeit vom Einsatzmaterial war ein Wirbelstromabscheider zur Rückgewinnung von Aluminium vorgesehen. Die verbleibende Restasche, die noch Kupfer und fein verteiltes Eisen enthält, sollte in der Kupferindustrie verwertet werden [Kuchta]. Weitere Informationen und detaillierte technische Daten sind der Literatur zu entnehmen [Dehoust]. Zu den geplanten Behandlungskosten dieser Anlage liegen keine Angaben vor. Nach Informationen der Autoren ist die Anlage nicht erstellt worden.

5.4 RESHMENT-Verfahren der Conzepte Technik Umwelt AG

Die Conzepte Technik Umwelt AG (CTU), vormals Babcock Borsig Power CT Environment, mit Sitz in Winterthur (Schweiz) ist in den Bereichen Verbrennung, Gasreinigung und Abfallbehandlung weltweit tätig. Dieses Unternehmen besitzt weltweit die Patentrechte für das RESHMENT-Verfahren, an dessen Entwicklung auch die Voest Alpine Industrieanlagenbau GmbH & Co beteiligt gewesen ist [CTU 1].

Das RESHMENT-Verfahren basiert auf einem zweistufigen Prozess: In der ersten Stufe, einer mechanischen Vorbehandlung, werden die Schredderrückstände zerkleinert und Wertstoffe (Metalle) separiert. Anschließend werden die feinfaserig vorliegenden Schredderrückstände in einer thermischen Behandlungsstufe verbrannt. Abbildung 13 zeigt ein Blockschaltbild des Verfahrens.

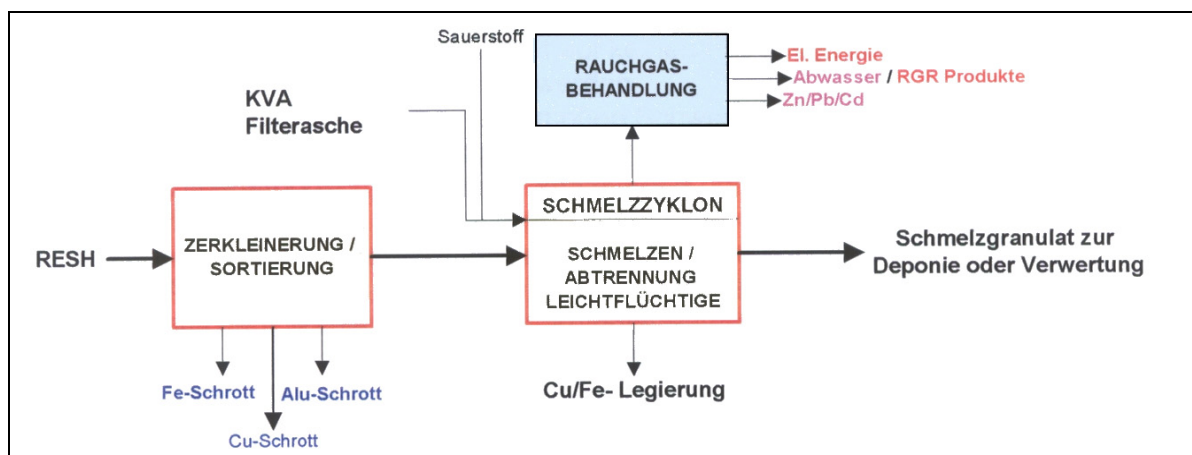


Abbildung 13: Blockschaltbild für den RESHMENT-Prozess [CTU 2]

Die vorgeschaltete mechanische Aufbereitung besteht aus einer Zerkleinerung sowie einer Abtrennung von Fe-, Cu- und Al-Schrott. Die zerkleinerten Schredderrückstände werden in einem Schmelzzyklon (CONTOP-Schmelzzyklon) mit Nachbrennkammer verbrannt. Im Schmelzzyklon werden unter definierten Bedingungen bei leicht reduzierender Atmosphäre Temperaturen von bis zu 2.000 °C erreicht; der vollständige Ausbrand erfolgt in der Nachbrennkammer [CTU 2]. Die Verbrennung erfolgt entsprechend Abbildung 13 mit Hilfe von Sauerstoff. Neben den Schredderrückständen können andere Abfälle, z.B. Filteraschen aus der Abfallverbrennung, zugeführt werden. Dieser Aufbau ähnelt einem Konzept, das bereits an anderer Stelle in der Literatur vorgeschlagen wurde [Neubacher].

Aufgrund der hohen Temperatur werden die Verbrennungsrückstände in eine Schmelzphase überführt, die aus zwei Phasen besteht. Neben der mineralischen Phase entsteht eine abtrennbare Metallphase, die u.a. die Metalle Eisen, Kupfer, Nickel und Chrom enthält. Für diese Metallphase ist eine Verwertung in der Kupferindustrie vorgesehen. Die resultierende mineralische Schmelze ist praktisch frei von Metallen und kann deponiert oder stofflich verwertet werden [Schaub 1].

Außerdem entsteht ein Rauchgas, dessen Wärmeenergie mit Hilfe eines Kessels genutzt werden kann. Die im Rauchgas angereicherten Schwermetalle (Blei, Cadmium und Zink) sollen in einem Filter abgeschieden und anschließend einer Rückgewinnung zugeführt werden [CTU 2]. Die sauren Schadgase HCl, HF und SO₂ werden in einem Rauchgaswäschersystem mit Gipsgewinnung abgetrennt. Als weitere Rauchgasreinigungsstufen sind ein Aktivkohlefilter und eine DENOX-Anlage vorgesehen [CTU 2].

Eine großtechnische Anlage, die nach dem RESHMENT-Verfahren arbeitet, existiert bisher noch nicht. Es wurden 1997 Pilotversuche mit verschiedenen Mischungen aus Schredderrückständen und Flugasche im Temperaturbereich zwischen 1.400 bis 1.600 °C durchgeführt [Schaub 3]. In einer weiteren Versuchskampagne wurden in einer technischen Mühle (Kapazität 3 t/h) insgesamt 400 t ASR durchgesetzt und ein Schmelzzyklon 100 h betrieben [Schaub 3]. Nach Angaben des Verfahrensträgers können bei einer Behandlung bzw. Verwertung der Schredderrückstände mit dem RESHMENT-Verfahren Verwertungsquoten für Altfahrzeuge von 98,7 bis 99,2 % erreicht werden [CTU 2].

Auch im Fall des RESHMENT-Verfahrens lässt die Diskussion über Urteile des Europäischen Gerichtshofs (siehe Kapitel 3.7) über die Abgrenzung zwischen Verwertung und Beseitigung zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Aussage darüber zu, ob die oben angeführten Verwertungsquoten konform zum deutschen bzw. europäischen Abfallrecht sind.

In der Schweiz wurde im Dezember 2001 bzgl. der Entsorgung der Schredderrückstände eine Entscheidung zu Gunsten des RESHMENT-Verfahrens gefällt. Die geplante Anlage am Standort Monthey im Kanton Wallis soll 50.000 bis 60.000 t Schredderrückstände, 30.000 bis 40.000 t Filterstäube aus MVA und 5.000 – 10.000 t Klärschlämme und Metallhydroxidschlämme im Jahr behandeln können [SA-2002]. Ursprünglich sollte der Bau der Anlage im 3. Quartal 2003 begonnen werden [Schaub 4]. Zwischenzeitlich war aber durch die Insolvenz der BABCOCK-BORSIG-POWER, mit der die CTU eng verbunden war, der Zeitplan in Frage gestellt [NN c]. Die Patentrechte am RESHMENT-Verfahren wurden zwischenzeitlich auf das als Betreiber der Anlage in Monthey vorgesehene Unternehmen Métraux übertragen. Als Generalunternehmer und Planer tritt zukünftig die VAI Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH & Co in Linz /Österreich auf; CTU wird weiterhin an der Planung der Anlage mitarbeiten [EUWID 10 2003]. Im günstigsten Fall soll die Anlage noch Ende 2005 fertig gestellt werden [EUWID 12 2003].

Weitere Details zu der Anlage und dem Standort sind [SA-2002] und [SA-Info8] zu entnehmen. Allerdings fehlen u.a. konkrete Informationen zum Sauerstoffbedarf der Anlage

und der Schwermetallabscheidung aus dem Rauchgas mit anschließender Rückgewinnung der Schwermetalle.

Die Kosten für die Entsorgung von Schredderrückständen mit dem RESHMENT-Verfahren werden mit 162 EUR/t angegeben [Schaub 5]. Dieser relativ niedrige Preis dürfte eine "Mischfinanzierung" sein und die relativ teure Entsorgung von Filterstäuben - in der Schweiz ein Problem - berücksichtigen. Die Entsorgung der Schredderrückstände und der Bau der Anlage in Monthey werden durch die "Stiftung Auto Recycling Schweiz" getragen; die finanzielle Ausstattung der Stiftung beruht auf "Entsorgungsbeiträgen", die seitens der Automobilhersteller für jedes in die Schweiz importierte Fahrzeug entrichtet werden müssen.

5.5 Kraftwerk Hamm

Eine weitere Variante zur thermischen Behandlung von Abfällen stellt die Mitverbrennung in Industrieöfen dar. Insbesondere bei der energieintensiven Zementherstellung und in Kraftwerken werden ausgewählte Abfälle eingesetzt. In Kraftwerken wird an vielen Standorten Klärschlamm eingesetzt, der in der Regel zusammen mit der Kohle dem Kessel zugeführt wird.

Allerdings können aufgrund der vorhandenen Fördertechnik bzw. der Abfalleigenschaften nicht alle Abfallstoffe problemlos mit der Kohle zugeführt werden. Am Kraftwerksstandort Hamm wird von der heutigen RWE Power AG das Kraftwerk "Westfalen" betrieben, das aus drei Blöcken (A, B, C) aufgebaut ist, und das mit einer weiteren Anlage für die Mitverbrennung ergänzt wurde. Die Nettoleistung der Blöcke, die alle mit Steinkohle betrieben werden, wird mit 152 MW für Block A und Block B bzw. 284 MW für Block C angegeben. Die Rauchgasreinigung besteht bei allen Kesseln, wie bei Kraftwerken üblich, aus einem Elektrofilter zur Staubabscheidung, einer Entschwefelungs- und einer Entstickungsanlage [RWE 1].

Eine Mitverbrennung von Abfällen ist in allen Blöcken vorgesehen [RWE 2] [RWE 3]. Für die thermische Behandlung von Schredderrückständen ist der Block C von Interesse, der mit einer s.g. ConTherm-Anlage ausgerüstet wurde [RWE 1]. Die ConTherm-Anlage beruht auf einem Konzept, das von der Mannesmann Demag Energie und Umwelttechnik (MDEU), später aufgegangen in Technip Germany GmbH und heute Techtrade GmbH, entwickelt wurde [Stadtmüller] [Schmidt]. Ausgelegt wurde die ConTherm-Anlage für ein Gemisch aus Schredderrückständen, DSD-Sortierreste, MBA-Leichtfraktion, Gewerbeabfall und Spuckstoffen [Technip].

Bei der ConTherm-Anlage handelt es sich um eine Pyrolyseanlage mit zwei parallel betriebenen Pyrolysedrehrohren als zentrale Verfahrensstufe, die als thermische "Abfallvorbehandlungsanlage" arbeitet. Die Drehrohre sind für einen Durchsatz von jeweils 50.000 t Abfall pro Jahr ausgelegt sind [Schulz]. Abbildung 14 zeigt ein Schema der Kopplung der ConTherm-Anlage mit dem Kraftwerk.

Die Pyrolyse in den Drehrohren läuft bei einer Temperatur von ca. 500 °C ab, die durch eine indirekte Beheizung mit Ölbrennern erreicht wird. Als maximale mögliche Kantenlänge der eingesetzten Abfallstoffe werden 200 mm genannt. Die entstehenden Pyrolysegase werden nach einer Entstaubung mit einem Zyklon dem Kraftwerkskessel zugeführt. Der bei der Pyrolyse ebenfalls entstehende feste Rückstand wird aufbereitet. Diese Aufbereitung besteht in der ersten Stufe aus einer Siebung (10 mm) des noch heißen Rückstands; die Feinfraktion (Pyrolysekoks) wird abgetrennt, in einem Silo zwischengespeichert und dann dem Kraftwerkskessel zugeführt. Aus der Grobfraktion werden nach Abkühlung im Nassentschlacker mit Magnetabscheider und NE-Abscheider die Metalle separiert. Es bleibt eine inerte Fraktion zurück [Schulz].

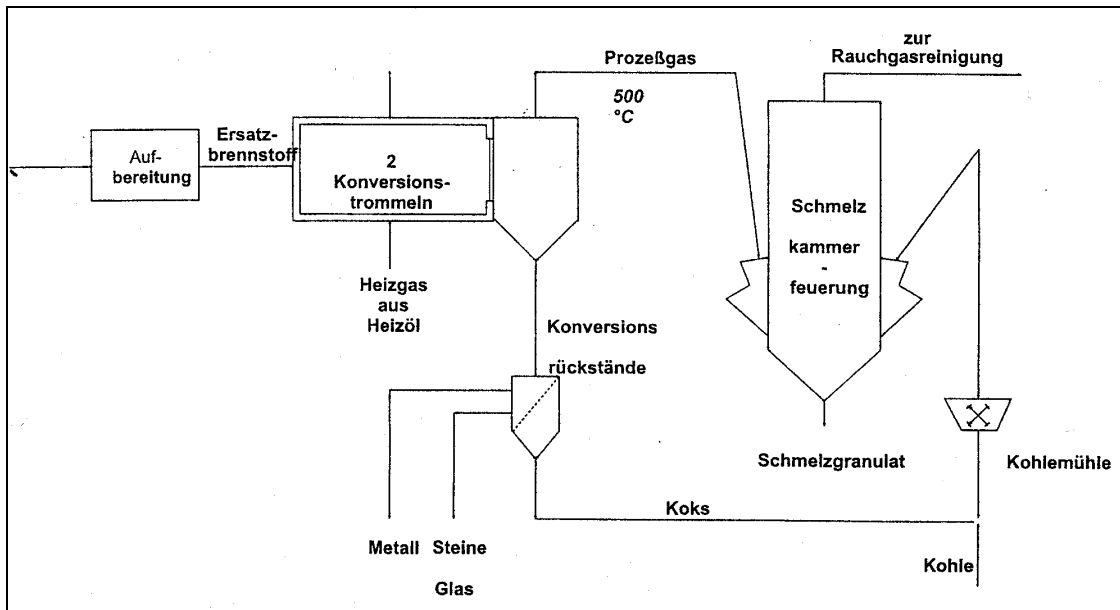


Abbildung 14: Kopplung der ConTherm-Anlage mit einem Kraftwerk [Schulz]

Die Verfahrenstechnik der ConTherm-Anlage lässt sich auch als Kombinationsverfahren der thermischen Abfallbehandlung auffassen. In der ersten Stufe (Drehrohre) werden die Abfälle getrocknet und pyrolysiert, die Vergasung und Verbrennung laufen im Kraftwerkskessel ab. Damit gleicht die Kombination aus einer ConTherm-Anlage und einem Kraftwerkskessel dem Siemens Schwel-Brenn-Verfahren (siehe z.B. [Anton] [Depmeier] [Mayer] [Richers]). Die Stoffströme innerhalb der ConTherm-Anlage für ein Auslegungsbeispiel zeigt die Abbildung 15.

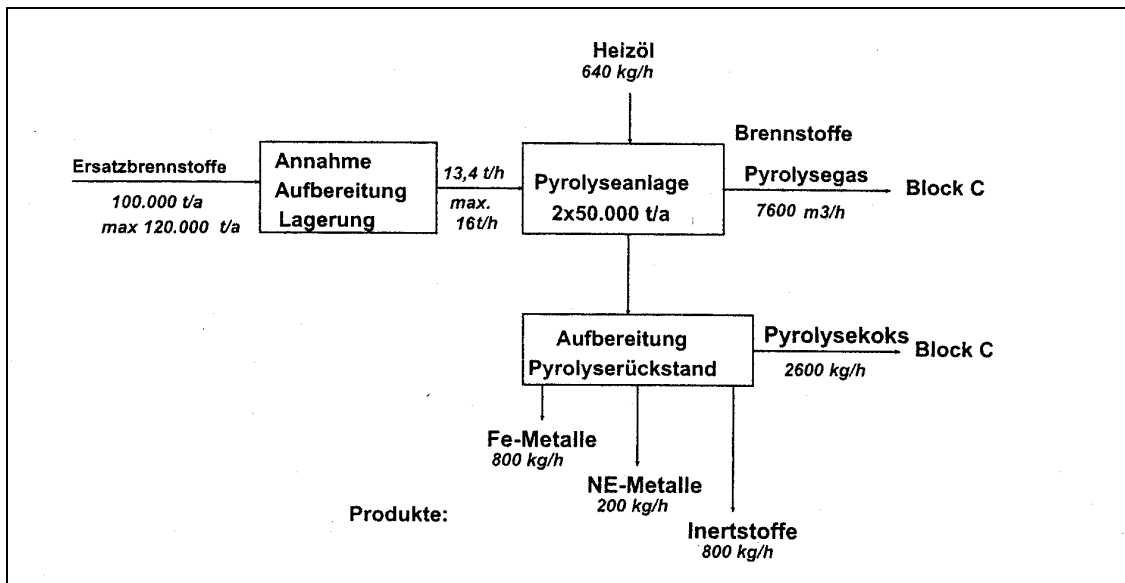


Abbildung 15: Stoffströme in der ConTherm-Anlage (Auslegungsbeispiel) [Schulz]

Die Behandlung von Abfällen im Kombinationsverfahren aus ConTherm-Anlage und Kraftwerk erfüllt die Definitionen bzgl. einer energetischen Verwertung von Abfällen entsprechend den Urteilen des EuGH (siehe Kapitel 3.7). Entgegen der ursprünglichen Konzeption werden im realen Betrieb der Anlage aber keine Schredderrückstände eingesetzt; hierfür liegt dem Betreiber keine Genehmigung vor [REW-3]. Als ausschlaggebend wird der Quecksilbergehalt in Schredderrückständen angesehen.

5.6 Thermoselect

Die Entwicklung des Thermoselect-Verfahrens für die thermische Behandlung von Abfällen begann Ende der 80er Jahre [Stahlberg]. Zunächst wurde 1992 eine Demonstrationsanlage in Italien fertig gestellt, die erste großtechnische Anlage für Restmüll wurde am Standort Karlsruhe errichtet. Den schematischen Aufbau für diesen Standort zeigt die Abbildung 16. Zwei weitere Anlagen wurden in Japan gebaut [Drost 1].

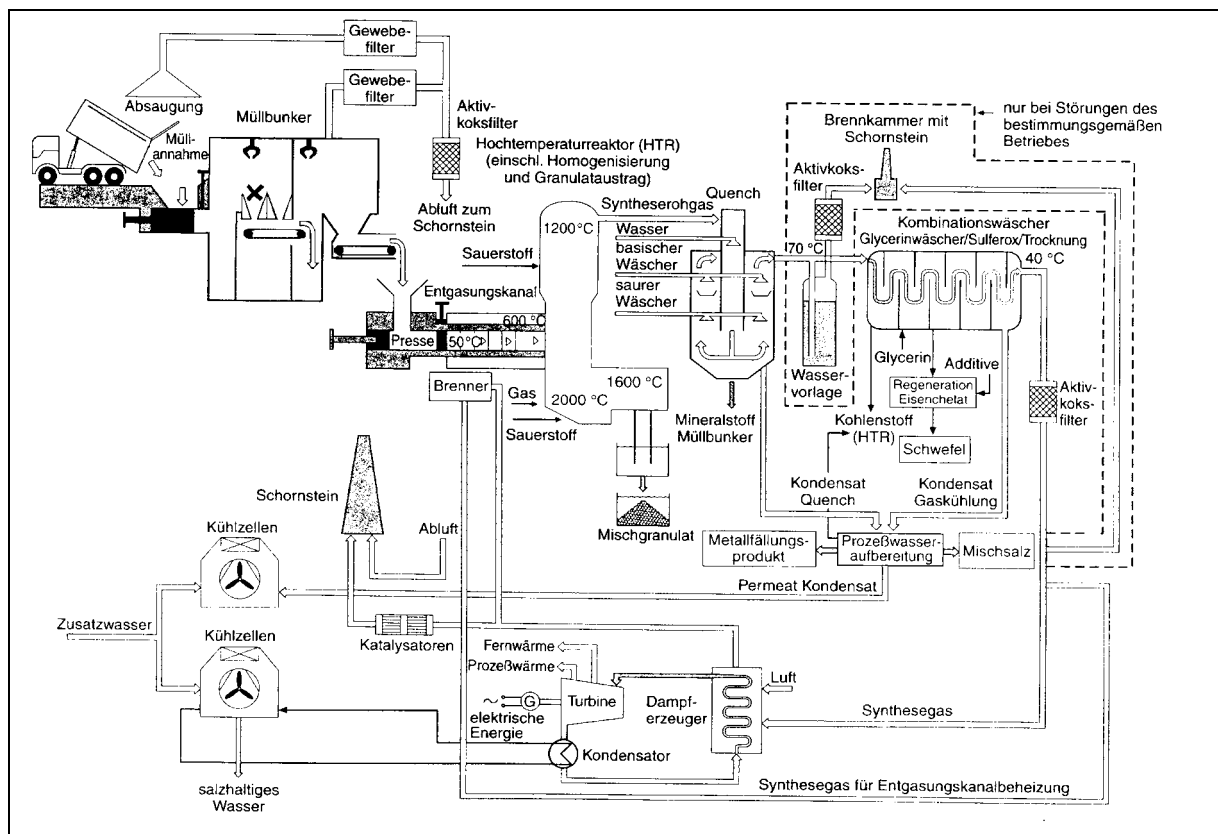


Abbildung 16: Thermoselec-Verfahren [Schrickel]

Das zweistufige Thermoselect-Verfahren besteht aus einer Pyrolysestufe mit nachfolgendem Vergasungsteil. Der Abfall wird mit Hilfe einer hydraulischen Presse in die Pyrolysestufe eingebracht, verdichtet und erhitzt; die Pyrolysestufe wird auch als Entgasungskanal bezeichnet. Als Produkte dieser ersten Verfahrensstufe entstehen ein Pyrolysegas und ein Pyrolyserückstand; beide Produkte werden aus dem Entgasungskanal direkt dem Hochtemperaturreaktor zugeführt. In dieser zweiten Verfahrensstufe werden das Pyrolysegas und der

Pyrolyserückstand unter Einsatz von reinem Sauerstoff vergast. Als Produkte dieser Verfahrensstufe entstehen ein heizwertreiches Prozessgas und eine schmelzflüssige Schlacke.

Die schmelzflüssige Schlacke fließt unten aus dem Hochtemperaturreaktor in ein Wasserbad ab. Die Schlacke wird dort granuliert und in eine Metallfraktion und ein glasartiges, inertes Material aufgeteilt.

Im heizwertreichen Prozessgas sind u.a. Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasser und Wasserstoff enthalten, so dass eine rohstoffliche Verwertung für Syntheszwecke, oder eine energetische Verwertung in Gasmotoren oder zur Dampferzeugung möglich ist. Für alle Optionen ist eine Abscheidung von Schadstoffen aus dem Prozessgas notwendig.

Die Gasreinigung beim Thermoselect-Verfahren unterscheidet sich von Rauchgasreinigungsanlagen bei Verbrennungsprozessen und umfasst eine Quenche, Gaswäsche, Entschwefelungsstufe und Aktivkoksfiler [Stahlberg]. Am Standort Karlsruhe wird das gereinigte Prozessgas zur Dampferzeugung eingesetzt.

Neben Restmüll können, wie bei den meisten thermischen Behandlungsverfahren auch, zusätzlich andere Abfallfraktionen eingesetzt werden. Im Rahmen eines Großversuchs am Standort Karlsruhe wurde vom 26. bis 29. November 2002 gemeinsam mit Restabfall auch Schredderrückstände eingesetzt [Dorst 2]. Der Anteil der Schredderrückstände betrug 45-55 Gew.-% [Drost 1]. An anderer Stelle werden 450 t Schredderrückstand und 555 t Hausmüll genannt [SA-2002]; an dem Großversuch für die Schredderrückstände bei Thermoselect in Karlsruhe war auch die Stiftung Altau Recycling Schweiz beteiligt. Das Thermoselect-Verfahren könnte als Ausweichvariante in Revisionszeiten einer geplanten RESHMENT-Anlage in Frage kommen [SA-2002].

Der Chlorgehalt der verwendeten Mischung aus Restabfall und Schredderrückständen betrug bis zu 3,5 Gew.-%, der Heizwert lag im Bereich von 10 bis 17 MJ/kg. Der Einsatz dieser Materialmischung verursachte keine Probleme in der Anlage. Ein Einfluss auf die gasförmigen Emissionen wurde nicht festgestellt. Der gegenüber dem regulär behandelten Restabfall erhöhte Gehalt an anorganischen Bestandteilen vergrößerte die Rückstandsmengen der Vergasung, die in Form einer schmelzflüssigen Schlacke bzw. eines Mischgranulats anfallen. In diesem Mischgranulat wurden erhöhte Schwermetallgehalte festgestellt, die auf die relativ hohen Schwermetallgehalte in der Schredderrückständen zurückgeführt werden [Drost 2] [Drost 1].

Eine abschließende Bewertung des Thermoselect-Verfahrens im Hinblick auf die Möglichkeit einer Verwertung von Schredderrückständen ist noch nicht möglich: Im Rahmen der Verfahrensentwicklung wurde für die Nutzung des bei der Vergasung gebildeten Prozessgases neben einer Verbrennung im Kessel zur Dampf- bzw. Stromerzeugung oder dem Einsatz in Gasmotoren auch die Synthese von Methanol bzw. Kohlenwasserstoffen als mögliche Option vorgesehen [Stahlberg]. Allerdings liegen bzgl. dieser Option bislang keine detaillierten Informationen vor. Grundsätzlich würde diese Form der Gasnutzung den Status einer Verwertung von Abfällen durch das Thermoselect-Verfahren rechtfertigen.

Die Behandlungskosten für Restabfall am Standort Karlsruhe betragen rund 140 EUR/t. Über die Behandlungskosten für die Schredderleichtfraktion liegen keine Angaben vor.

5.7 SVZ-Schwarze Pumpe

Das heutige Unternehmen "Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH", kurz SVZ, war früher Eigentum der Berliner Wasserbetriebe und gehört seit Mitte 2002 zur Ostdeutschen Gesellschaft für Reststoffverwertung (Oresto).

Am Industriestandort Schwarze Pumpe standen bereits zu DDR-Zeiten Vergasungsanlagen zur Erzeugung verschiedener Produkte (u.a. "Stadtgas") aus Braunkohle zur Verfügung. Heute werden am Standort die Festbettdruckvergasung und die Flugstromvergasung zur thermischen Abfallbehandlung eingesetzt. Es stehen 5 Festbettdruckvergaser (Kapazität 15 t/h), ein British Gas Lurgi (BGL) Schlackebadvergaser (Kapazität 30 - 35 t/h [Obermeier]) und zwei Flugstromvergaser zur Verfügung. Die Abbildung 17 zeigt ein Fließbild für den Anlagenverbund am Standort.

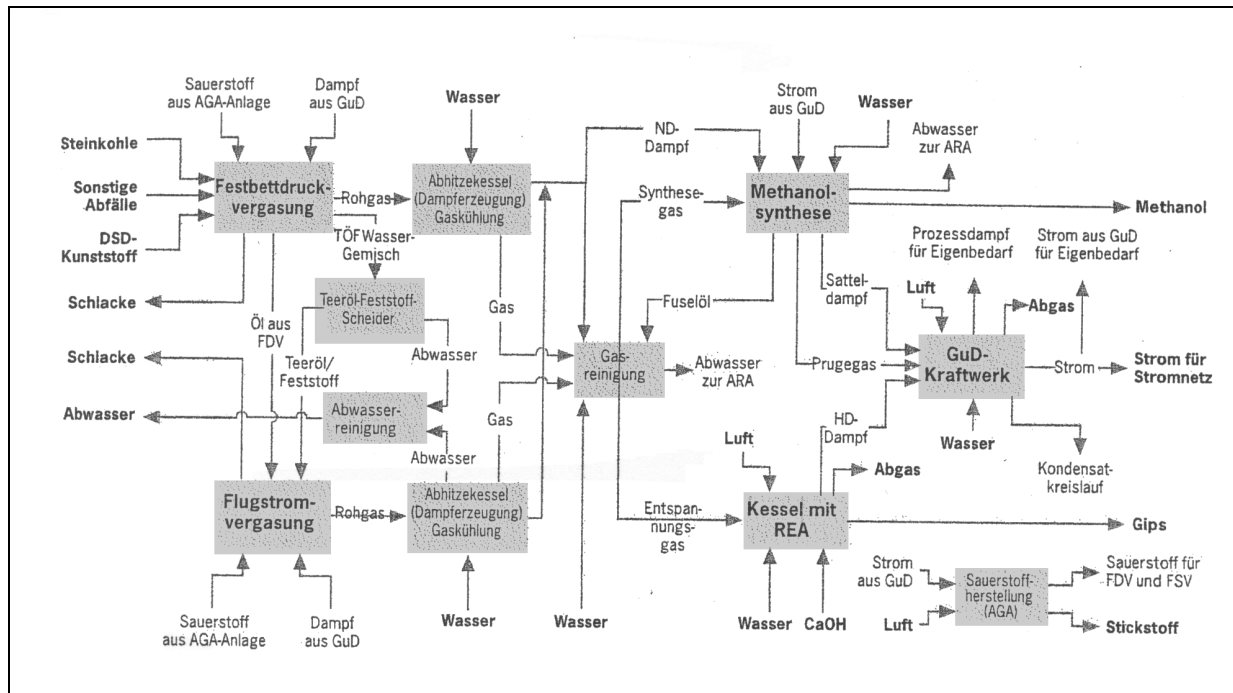


Abbildung 17: Vereinfachtes Fließbild des Anlagenverbundes beim SVZ [Bez]

Die Festbettdruckvergasung führt zu einem stofflich verwertbaren Gas, dessen fühlbarer Wärmegehalt zunächst in einem nachgeschalteten Abhitzeessel genutzt wird. Anschließend wird das Gas gereinigt und der Methanolsynthese zugeführt. Als ein Nebenprodukt der Festbettdruckvergasung gebildete flüssige Kohlenwasserstoffe werden der Flugstromvergasung zugeführt und nach Abwärmenutzung und Reinigung ebenfalls als Ausgangsstoff für die Methanolherstellung verwendet. Inerte Anteile des Materialinputs fallen beim Festbettvergaser als deponiefähige Schlacke, beim BGL-Vergaser in Form einer glasartigen Schlacke an. Im Prozess entstehende Entspannungs- und Purgegase werden in einem GUD-Kraftwerk oder einem zusätzlichen Kessel zur Energieerzeugung genutzt.

In den Festbettdruckvergasern werden aufbereitete und pelletierte Gemische aus Abfallstoffen zusammen mit Kohle eingesetzt. Als Einsatzstoffe können im Gemisch mit Kohle Altkunststoffe, Klärschlämme, Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Altgummi, Altholz, Elektronikschrott, Lack- und Farbreste sowie andere kohlenwasserstoffhaltige Abfälle eingesetzt werden [Seifert] [Obermeier]. Auf der Basis einer 1998 erteilten Betriebsgenehmigung wird u.a. ein Gemisch vergast, das zu 85 % aus Abfällen und zu 15 % aus Steinkohle besteht. Der Kunststoffanteil wird mit etwa 50 % angegeben [Bez].

Neben den bisher genannten Abfällen können im SVZ auch Schredderrückstände stofflich verwertet werden. In der Vergangenheit wurden Schredderrückstände mechanisch aufbereitet

und pelletiert bzw. verdichtet oder im Anlieferungszustand (ohne Aufbereitung) dem Vergasungsprozess zugeführt [Obermeier]. In Zusammenarbeit mit der Technologieentwicklungsgesellschaft GmbH für ökoeffiziente Polymerverwertung (tecpol) und der Association of Plastics Manufactures in Europe (APME) wurde ein Großversuch mit knapp 1.000 t Schredderrückständen im Januar 2003 durchgeführt [EUWID 27 2003].

Nach der mechanischen Aufbereitung einer Mischung aus (z.T. vorbehandelten) Schredderrückständen und festen Siedlungsabfällen ("Heizwertfraktion" aus der MBA) konnten den Angaben des Unternehmens zufolge rund 74 Gew.-% der Schredderrückstände als "Pellets" oder direkt einsetzbare Teilfraktionen dem Vergaser zugeführt werden. Rund 8 Gew.-% der Ausgangsmasse wurden gesondert als Fe- und NE-Metalle verwertet, weitere 6 Gew.-% wurden als "Inertstoffe" entsorgt und 12 Gew.-% "Wasser" wurden im Zuge der Aufbereitung durch Trocknung eliminiert. Die erzeugten "Pellets" wiesen einen Heizwert von 16 – 20 MJ/kg, einen Aschegehalt von 21 – 28 Gew.-% und einen Wassergehalt von 3 - 4 Gew.-% auf (gegenüber dem Ausgangsmaterial mit Heizwerten von 15 – 16 MJ/kg, einem Aschegehalt von 37 – 41 Gew.-% und einem Wassergehalt von 16 – 18 Gew.-%). Der Aschegehalt der "Pellets" sowie der anderen im BGL-Vergaser eingesetzten Materialien geht in die schmelzflüssige Schlacke über; diese kann verwertet werden [Buttker].

Die konzipierte Verfügbarkeit des BGL-Vergasers vorausgesetzt könnten jährlich 220.000 – 250.000 t eines Reststoff/Kohle-Gemischs vergast werden. Bereits ab 2005 könnten dann rund 140.000 t Altkunststoffe und Schredderrückstände jährlich verwertet werden [EUWID 27 2003]; der Anteil der Schredderrückstände war mit 50.000 - 60.000 t/a vorgesehen [Schingnitz]. Derzeit werden die Möglichkeiten zum Bau eines zweiten Schlackebettvergasers untersucht.

Die Vergasung von Abfällen im BGL-Vergaser in Verbindung mit der nachfolgenden Methanolgewinnung aus dem produzierten Gas ist als stoffliche Verwertung anerkannt: Nach den erfolgreichen Pilotversuchen im Januar 2003 hat das sächsische Umweltministerium die behördliche Einstufung des Recyclingverfahrens als stoffliche Verwertung für Schredderrückstände erteilt [EUWID 27 2003]; die freigegebenen Abfallschlüssel 19 10 03 und 19 10 04 (vergleiche Tabelle 2) umfassen auch solche Materialien, die aus der Zerkleinerung von Altfahrzeugen in Schredderanlagen stammen.

Die Aufbereitung und anschließende Vergasung von Hausmüll erforderte 1998 eine Zuzahlung von umgerechnet etwa 100 EUR/t [Seifert]. Für die Vergasung der Schredderrückständen werden Kosten von "deutlich über 100 EUR/t" angegeben [EUWID 27 2003].

5.8 HTSV-Verfahren der Fa. Grüßing/KSK-WT GmbH

Im Frühjahr 2002 wurden unter Beteiligung des Verbandes der kunststofferzeugenden Industrie (VKE) sowie der HIM GmbH in einer Pilotanlage der Firma Grüßing am Standort Rudisleben Versuche zur Vergasung von Schredderrückständen und anderen kunststoffhaltigen Abfallmaterialien durchgeführt [HIM]. Die Anlage nach dem Verfahren der Hochtempertur-Schmelzvergasung (HTSV) hatte eine Kapazität von 1,0 bis 1,5 t/h. Die prinzipielle Möglichkeit einer Vergasung dieser Materialien und der Erzeugung eines Synthesegases mit diesem Verfahren konnte demonstriert werden.

Im HTSV-Verfahren der KSK-WT GmbH werden die festen Einsatzstoffe in einem als Schachtofen ausgebildeten atmosphärischen Gleichstromvergasen umgesetzt [Grüßing]. Die im Ofenschacht absinkenden Einsatzstoffe durchlaufen eine geregelte Pyrolyse der organischen Bestandteile, wodurch das Schachtgas mit Pyrolyseprodukten angereichert wird. Die Strömungsrichtung des Schachtgases verläuft ebenfalls von oben nach unten. Im Bereich

der sich unterhalb der Pyrolysezone anschließenden Hochtemperaturzone wird Sauerstoff eingedüst. Das angereicherte Pyrolysegas wird in dieser Zone vollständig umgesetzt. Die in den Einsatzstoffen enthaltenen organischen Verbindungen werden bei Temperaturen von ca. 2.000°C in der Reduktionszone in niedermolekulare Bestandteile zerlegt. Die Spaltprodukte reagieren mit dem Pyrolysekokes zu Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Kohlendioxid und Wasser. Das Gas wird aus dem Hochtemperaturbereich abgesaugt und einer Rohgasaufbereitung zugeführt.

Bei den hohen Temperaturen in der Reduktionszone werden metallische und mineralische Anteile der Einsatzstoffe geschmolzen; sie sammelt sich schmelzflüssig im unteren Abschnitt des Ofens. Beim durchfließen des Koksбетtes werden Schwermetalloxide vollständig reduziert. Die flüssige Schlacke wird abgezogen und kann als Granulat oder in sonstiger Form verwertet werden. Das schmelzflüssige Eisen ist mit den weiteren im Einsatzstoff enthaltenen Metallen legiert; es wird gesondert abgestochen. Die Metalllegierung ist zur weiteren Aufbereitung in der Metallindustrie geeignet. Aus dem Rohgas werden Chlor-, Schwefel- und sonstige unerwünschte Verbindungen sowie Stäube abgeschieden. Das Reingas kann, abhängig von seiner Qualität, für verschiedene Verwertungsansätze verwendet werden.

Um die Gasgängigkeit der Materialschüttung im Reaktor zu gewährleisten müssen die Einsatzstoffe bestimmte Voraussetzungen bzgl. Stückigkeit und Feinanteil erfüllen; ggf. müssen die Einsatzstoffe in geeigneter Form (Briketts) vorgelegt werden.

Seitens der KSK-WT GmbH werden für eine Anlage mit einer Kapazität von ca. 50.000 t/a und einem auf hohen Gasertrag und –qualität ausgelegten Input (Kunststoffabfälle, Koks, max. 30 Gew.-% Schredderrückstände) Betriebskosten von ca. 100 EUR/t angegeben; Aufwendungen für einzelne Inputmaterialien (Koks, Eisenschrott) und Erlöse für Produkte wurden berücksichtigt.

5.9 Mechanische Aufbereitungsverfahren

Das SRTL-Verfahren der Fa. GALLOO SA

Das belgische Unternehmen GALLOO SA ist seit geraumer Zeit auf dem Sektor Metallrecycling tätig und als Betreiber von Schredderanlagen direkt mit dem Problem der Entsorgung von Schredderrückständen konfrontiert. Eigenen Angaben zufolge betreibt das Unternehmen bereits seit 1995 Anlagen zur Aufbereitung von Schredderrückständen, wobei eine eigene Verfahrensentwicklung (SRTL = shredder residue treatment line) zum Einsatz kommt; an drei Standorten in Belgien und Frankreich stehen heute Behandlungskapazitäten von insgesamt 265.000 t Schredderrückstände pro Jahr zur Verfügung [Debaere].

Das Verfahren verfolgt das Ziel, die Schredderrückstände durch ausschließlich mechanische Aufbereitungs- und Trenntechniken in verwertbare Teilfraktionen zu trennen. Das Verfahren stützt sich auf eine Zerkleinerung der Schredderrückstände in Prallmühlen sowie einen Verfahrensschritt zur mechanischen Trennung mittels "Formfaktor", einen Reinigungsschritt sowie zwei Verfahrensschritten zur Trennung mittels Dichte [Galoo]. Die Schredderrückstände werden in eine "Mineral-Fraktion" (ca. 40 Gew.-%), eine "Leicht-Fraktion" (ca. 30 Gew.-%), eine "Schwer-Fraktion" (ca. 15 Gew.-%) und eine "Plastik-Fraktion" (ca. 10 Gew.-%) aufgetrennt.

Die Mineral- und Leicht-Fraktionen werden derzeit noch auf Deponien entsorgt; an einer weitergehenden Aufbereitung und Verwertung dieser Materialien, z.B. als Straßenbaumaterial oder als Rohstoff für Dämmstoffe im Automobilbau wird gearbeitet. Die Schwer-Fraktion besteht aus Gummi, Kunststoffen und Holz und wird überwiegend in Zementwerken energetisch verwertet; allerdings besteht ein harter Wettbewerb mit anderen Ersatzbrennstoffen. Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) sind Bestandteile der Plastik-Fraktion und werden

einer stofflichen Verwertung in der Kunststoffindustrie zugeführt; die Verwertung weiterer Kunststoffe (Polystyren, ABS, PA, PC) wird angestrebt. Ein Rückstand von ca. 5 Gew.-% - überwiegend PVC, Steine und NE-Metalle – kann in einem nach geschalteten Schritt aufbereitet werden; Steine als auch NE-Metalle werden einer Verwertung zugeführt. Einen Überblick über die Stoffflüsse im SRTL-Verfahrens gibt Abbildung 18.

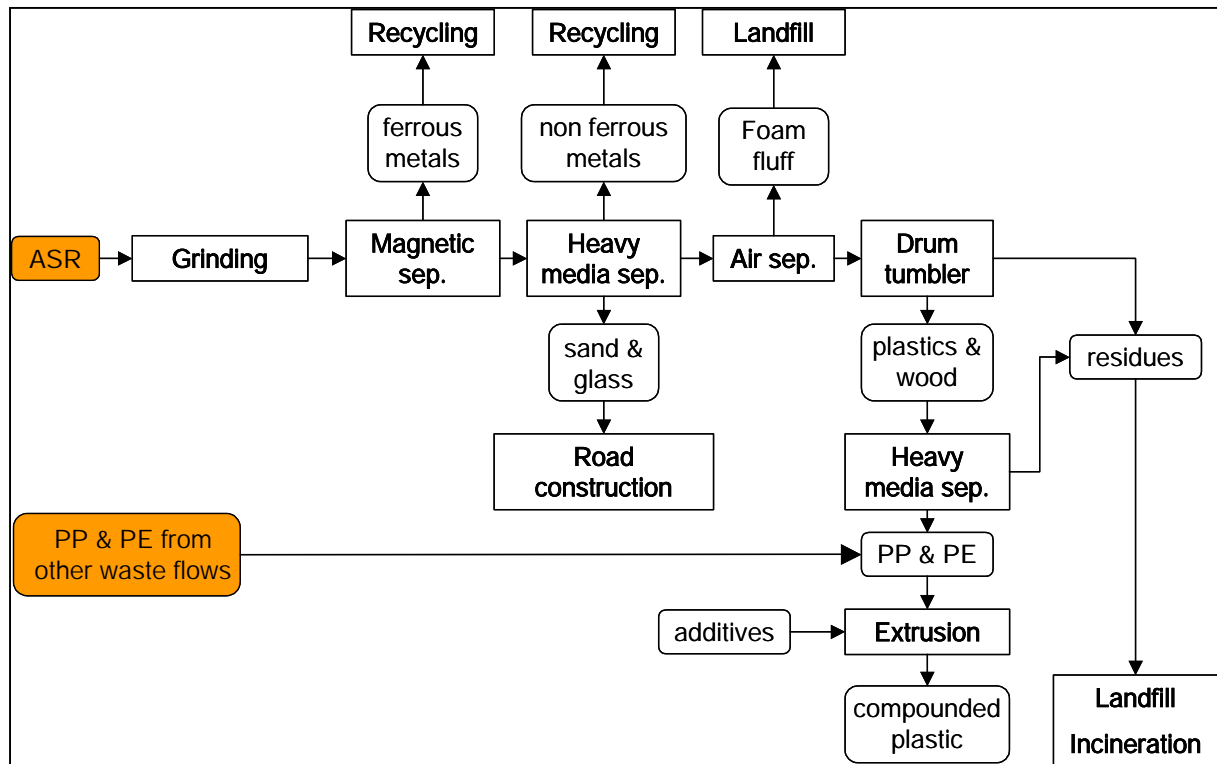


Abbildung 18: Das SRTL-Verfahren der Firma GALLOO SA / Belgien [Ferrão]

Die Kosten für die Auftrennung der 5 beschriebenen Fraktionen mit dem SRTL-Verfahren werden mit ca. 25 EUR/t Schredderrückstand angegeben [Debaere]. Weitere Kosten entstehen durch die Entsorgung der nicht verwertbaren Fraktionen und Reststoffe denen eventuell Gutschriften aus dem Verkauf von Wertstoffen gegenüberstehen. Die Entsorgungskosten für Schredderrückstände belaufen sich in der Summe auf weniger als 65 EUR/t.

Im Rahmen eines Großversuchs unter Beteiligung der französischen Automobilbauer RENAULT und PSA wurde die Recyclingfähigkeit von 201 trockengelegten Altfahrzeugen in der Prozesskette Schredder/SRTL-Verfahren untersucht: Rund 83 Gew.-% der Altfahrzeuge konnten als Stahlschrott, NE-Metallschrott, Kunststoffe und Ersatzbrennstoff einer Verwertung zugeführt werden; 17 Gew.-% wurden auf Deponien entsorgt [François].

Das Verfahren ist derzeit noch nicht geeignet, die Vorgaben der Richtlinie 2000/53/EG bzw. der deutschen AltfahrzeugV zu erfüllen; hierzu müssen weitere Materialanteile bzw. Teilfraktionen für eine Verwertung erschlossen werden. Das Verfahren ist ggf. geeignet, den Forderungen der Deponie-Richtlinie 1999/31/EG nach einer "Behandlung" der abzulagernden Abfälle zu entsprechen (vergleiche Kapitel 3.8); die Zuordnungskriterien der deutschen AbfAbIV für Deponien können dagegen nicht erreicht werden.

Das Verfahren der Fa. SALYP

Das belgische Unternehmen SALYP hat ein Verfahren zur mechanischen Aufbereitung von Schredderrückständen entwickelt: Neben konventionellen Verfahrensschritten (Sieb, Zerkleinerung) werden auch neuartige Aufbereitungs- und Trenntechniken zur Erzeugung von verwertbaren Teilfraktionen aus Schredderrückständen eingesetzt [Friedl-2].

Zunächst werden durch ein Siebaggregat die Teilfraktionen PUR-Schaum, Mischkunststoffe und Feianteile (Eisenoxid) hergestellt. Der PUR-Schaum wird in einer speziellen Apparatur gereinigt und für die werkstoffliche Verwertung aufbereitet. Die Mischkunststoffe sollen durch ein neuartiges "Thermo-Plastische-Sortierung" (TPS)-Verfahren sortenrein getrennt werden und ebenfalls für die werkstoffliche Verwertung geeignet sein. Neben Metallschrott soll auch der Eisenoxid-Anteil in der Feinfraktion einer Verwertung zugeführt werden.

Nach Angaben der Fa. SALYP können rund 70 Gew.-% der Schredderrückstände in stofflich verwertbarer Form aufbereitet werden. Lediglich ein Schlamm aus der PUR-Wäsche sowie sonstige Fasern und Reststoffe aus der Kunststoffaufbereitung werden auf Deponien entsorgt [Salyp].

Teilkomponenten der Anlagentechnik befinden sich in der Erprobungsphase; erste Demonstrationsanlagen befinden sich nach Angaben des Unternehmens in Planung. Die Kosten für die Aufbereitung der Kunststoffe aus Schredderrückständen mit dem TPS-Verfahren werden auf 170 EUR/t Kunststoff geschätzt und sollen nur rund 50 % der Kosten herkömmlicher Verfahrensketten betragen [EUWID 42 1999]. Zu den Gesamtkosten einer Aufbereitung von Schredderrückständen mit dem Verfahren der Fa. Salyp liegen keine belastbaren Informationen vor.

Das WESA-SLF-Verfahren der Fa. LSD

Das Verfahren der Fa. LSD GmbH verfolgt das Ziel, durch den kombinierten Einsatz verschiedener konventioneller Zerkleinerung-, Sortier- und Trenntechniken die Schredderrückstände in verschiedene verwertbare Teilfraktionen zu trennen [Sattler].

Im Frühjahr 2000 wurde eine Pilotanlage (WESA 4 – SLF) am Standort Eppingen mit einer Verarbeitungskapazität von 4 t/h in Betrieb genommen. Über einen Zeitraum von mehreren Monaten wurde die Anlagentechnik erprobt und optimiert [Pruckner]. Über den gesamten Zeitraum bis zum Juli 2000 konnten mehrere hundert Tonnen Schredderrückstände durchgesetzt werden.

Der Probetrieb der Pilotanlage hat bislang nicht zu den erhofften Ergebnissen geführt. Verschiedene Metalle konnten zwar in geringem Umfang und in einer stofflich verwertbaren Form aussortiert werden. Die stoffliche Verwertung verschiedener angereicherter "Organik"-Fraktion – angestrebt war der Einsatz z.B. als Ersatzreduktionsmittel im Hochofen – und die Beseitigung sonstiger Reststoffe scheitert an den Eigenschaften dieser Materialien (vergleiche Tabelle 12).

Die Kosten für die Aufbereitung der Schredderrückstände mit dem LSD-Verfahren bei WESA 4 werden mit rund 110 EUR/t angegeben [Pruckner]; die Kosten für den Betrieb sowie die Kosten für die Entsorgung von Reststoffen als auch der Erlöse für Wertstoffe wurden hierbei berücksichtigt.

Das VW-SiCon-Verfahren

Beim VW-SiCon-Verfahren sollen die Schredderrückstände durch den kombinierten Einsatz verschiedener konventioneller Zerkleinerungs-, Sortier- und Trenntechniken zunächst in verschiedene Teilfraktionen getrennt werden (Rohgranulat, Fe-Metalle, NE-Metalle, Flusen-Fraktion und Sand-Fraktion). Das Rohgranulat soll durch weiterführende Reinigungs- (Hochdruckwäsche) und Trennschritte (elektrostatische Sortierung) veredelt und so für eine hochwertige rohstoffliche Verwertung als Ersatzreduktionsmittel für Hochöfen qualifiziert werden. Auch die Sand-Fraktion soll durch weiterführende Aufbereitungsschritte für eine hochwertige stoffliche Verwertung geeignet sein. Der prinzipielle Aufbau des Verfahrens wird in drei Patentanmeldeschriften dargestellt [SiCon 1] [SiCon 2] [SiCon 3].

Über die Leistungsfähigkeit und die Kosten des Verfahrens liegen bislang keine belastbaren Informationen vor. Die Verfahrensentwickler gehen von der weitgehenden Verwertung aller Teilfraktionen aus; selbst die "Flusen" sollen als Hilfsmittel zur Klärschlammwässerung stofflich verwertbar sein. Nach Angaben von VW soll noch vor 2005 eine großtechnische Pilotanlage realisiert werden [EUWID 39-2 2003]; an diesem Vorhaben sind neben Volkswagen auch Opel und die Salzgitter AG beteiligt [EUWID 29 2003].

Die Einstufung der Nutzung von Abfallstoffen in Hochöfen ist allerdings nicht unstrittig. Das Land Oberösterreich betrachtet dieses Verfahren als stoffliche Verwertung, das österreichische Umweltministerium dagegen als thermische Verwertung [EUWID 36 2003]. Grundsätzlich ist auf die hohen Anforderungen an Ersatzreduktionsmittel für den Einsatz in Hochöfen hinzuweisen [Buchwalder]; der praktische Nachweis der Erfüllung dieser Anforderungen durch das SiCon-Verfahren wurde bislang nicht erbracht.

5.10 Vergleich der Verfahren

In den vorangegangenen Abschnitten wurden ausgewählte Verfahren vorgestellt, die zur Behandlung der Shredderleichtfraktion eingesetzt werden können. Die Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß bei thermischen und mechanischen Behandlungsverfahren sowie deren Kombinationen. Eine Erfassung von allen Technologien ist im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht möglich. Für einen weiterführenden Vergleich der vorgestellten Verfahren ist eine vereinfachte grafische Darstellung entsprechend Abbildung 19 sinnvoll.

Der linke Teil der Abbildung 19 zeigt die Abfolge der verfahrenstechnischen Behandlungsstufen. Nach einer mechanischen Aufbereitung, die nicht Bestandteil aller Verfahren ist, können sich thermische Behandlungsstufen anschließen. Die Verbrennungsteilschritte enthalten jeweils die vorangegangenen Teilschritte. Beispielsweise umfasst die Vergasung die Trocknung und die Pyrolyse. Eine verfahrenstechnische Trennung der Verbrennungsteilschritte bietet die Möglichkeit, Zwischenprodukte für eine weitere Verwertung auszuschleusen zu können. Die im Prinzip möglichen Produkte sind in Abbildung 19 aufgeführt.

Im rechten Teil der Abbildung 19 werden die unterschiedlichen Verfahren (in den Kapiteln 5.1 bis 5.9 vorgestellt) den verfahrenstechnischen Behandlungsstufen zu geordnet. Markierungen in den senkrechten Balken beschreiben einzelne verfahrenstechnische Stufen, in welchen Zwischenprodukte ausgeschleust werden können. Für Thermostelect beschreibt die Markierung die Feststoffausschleusung aus dem Vergasungsreaktor, im Fall des RESHMENT-Verfahrens steht die Markierung für die Metallabtrennung bei der mechanischen Aufbereitung.

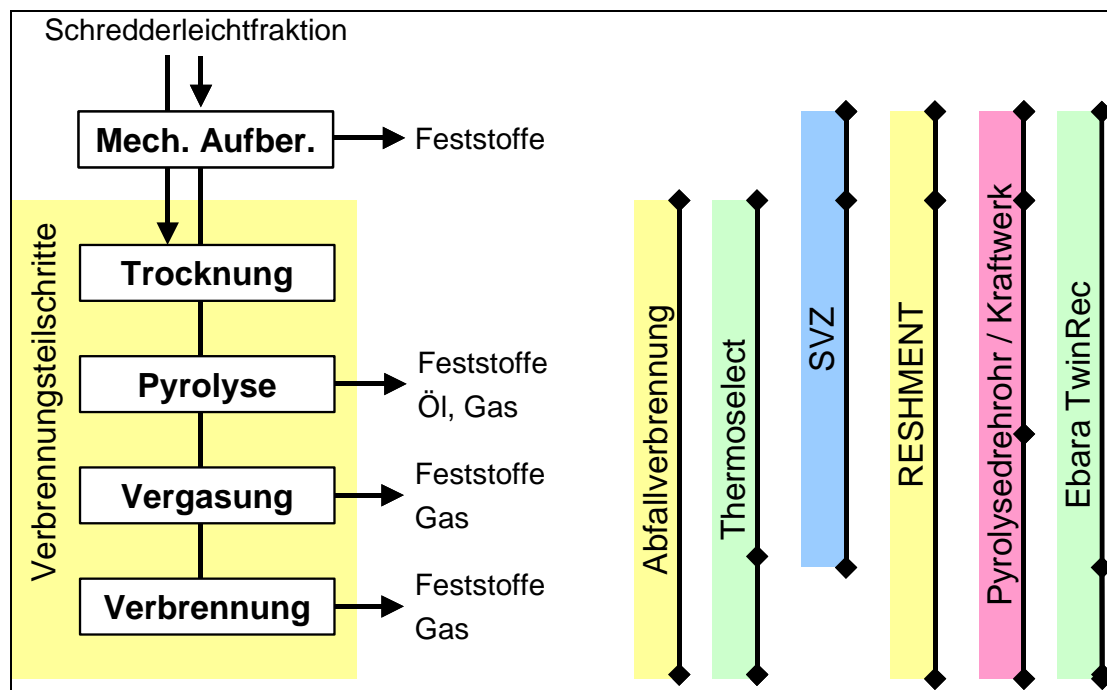


Abbildung 19: Vereinfachtes Schema für den Vergleich von Verfahren zur Behandlung der Schredderleichtfraktion (siehe Text).

Diese Trennung der einzelnen Verbrennungsteilschritte, neben Thermoselect auch bei dem TwinRec-Verfahren (Ebara) und der Kombination Pyrolysedrehrohr mit einem Kraftwerkskessel möglich, wurde Anfang der 90er Jahre auch im Zusammenhang mit dem Schwelbrenn-Verfahren (Siemens) oder dem Konversionsverfahren (Noell) diskutiert.

Die Vielfältigkeit der Verfahrensvarianten wird auch deutlich, wenn man entsprechend Abbildung 19 die Möglichkeiten zur Metallabtrennung betrachtet. Wird eine Kombination aus einer mechanischen Aufbereitung mit einem thermischen Behandlungsverfahren eingesetzt, so existieren drei prinzipielle Möglichkeiten:

1. Im Rahmen der mechanische Aufbereitung vor der thermischen Behandlung.
Beispiel: RESHMENT.
2. Ausschleusung aus der thermischen Behandlung.
Beispiele: Nach Pyrolyse (Pyrolysedrehrohr /Kraftwerkskessel), Nach Vergasung (EBARA, TwinRec).
3. Nach der Verbrennung:
Beispiel: Schlackeaufbereitung MVA.

Eine genauere Betrachtung der Abbildung 19 führt zu weiteren, interessanten Verfahrenskombinationen. Eine Variante ergibt sich zum Beispiel aus der Kombination der mechanischen Aufbereitung, mit einer Abfallverbrennungsanlage. Als Vorteile sind ein verminderter Schwermetalleintrag und ein besseres Metallrecycling vorstellbar. Diese Kombination ähnelt einem Konzept, das bereits an anderer Stelle vorgeschlagen wurde [Neubacher].

Eine vergleichbare Lösung wurde auch bereits realisiert: An der Abfallverbrennungsanlage in Köln ist eine mechanische Hausmüllsortieranlage zur Erfassung von Wertstoffen vorge-schaltet [AVG]. Für eine veränderte Zielsetzung wurde am Standort Göppingen eine Drehrohtrommel installiert [Hick]; diese mechanische Verfahrensstufe diente der Homogenisierung eines Brennstoffgemischs aus Restmüll und Klärschlamm,.

Die Kombinationsmöglichkeiten beschränken sich nicht nur auf verfahrenstechnische Aspekte. Überlegungen zur gemeinsamen Behandlung der Shredderleichtfraktion bzw. daraus abgetrennten Teilfraktionen mit anderen Abfällen erscheinen sinnvoll. Insbesondere die Entsorgung von Elektronikschrott bietet hier Ansatzpunkte, denn in Analogie zur Entsorgung von Altfahrzeugen werden auch hier Verwertungsquoten in einer europäischen Richtlinie [2002/96/EG] gefordert. Zur Zeit wird an einer Elektro-Altgeräte-Verordnung zur Umsetzung in nationales Recht gearbeitet [EUWID 28 2003]. Die wichtigsten Inhalte der späteren Verordnung sind in einem Eckpunktepapier [BMU 2] aufgeführt.

Es ist zusammenfassend festzuhalten, dass die in den Kapiteln 5.1 bis 5.9 vorgestellten Verfahren einen guten Überblick über etablierte bzw. zur Zeit diskutierte Verfahren geben. Zukünftig können für die Entsorgung der Autoshrederleichtfraktion durchaus andere Verfahrenskombinationen oder eine gemeinsame Behandlung mit anderen Abfallfraktionen zum Einsatz kommen.

6 Zusammenfassung und zukünftige Entwicklungen

Als Altfahrzeuge werden Fahrzeuge verstanden, die das Ende der Nutzungsdauer erreicht haben und anerkannten Demontagebetrieben zugeführt werden. Dort werden Betriebsflüssigkeiten entfernt (Trockenlegung), verwertbare Komponenten ausgebaut und die Teile entnommen, die entsprechend der rechtlichen Vorschriften ausgebaut werden müssen.

Die Altfahrzeugverordnung und ihre vorangegangenen Rechtsvorschriften haben zusammen mit verschärften Umweltauflagen bereits zu größeren Veränderungen bei der Entsorgung von Altfahrzeugen geführt: 1997 existierten in Deutschland rund 5.000 Altauto-Verwerter [Vollrath 1], häufig "ungeordnete" Schrottplätze, auf denen Privatpersonen in eigener Regie verwendbare Komponenten aus Altfahrzeugen entnehmen konnten. Aktuell sind in Deutschland noch 840 zertifizierte Altfahrzeug-Verwertungsbetriebe tätig [EUWID 29 2003].

Die nach Trockenlegung und Demontage verbleibenden Restkarossen werden gemeinsam mit anderen Metallabfällen in Schredderbetrieben zerkleinert und anschließend aufbereitet. Die Fe- und NE-Metalle werden regelmäßig verwertet. Daneben fallen in Deutschland auf aktuellem Stand jährlich aber auch rund 450.000 t Schredderrückstände an; diese Abfallmenge wird in ca. 40 Schredderbetrieben über das Bundesgebiet verteilt "erzeugt". Bis zu 2/3 dieser Abfallmenge (max. 300.000 t/a) geht auf den Einsatz von Altfahrzeugen zurück.

Der Vergleich mit den in der Bundesrepublik zu entsorgenden Abfallmengen zeigt, dass die Shredderrückstände nur einen sehr geringen Anteil darstellen: In der Bundesrepublik Deutschland müssen jährlich rund 400 Mio. t Abfälle entsorgt werden. Mit ca. 240 Mio. t stellen die Bauabfälle den größten Anteil. Das jährliche Aufkommen an Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewebeabfällen liegt in der Größenordnung von 45 Mio. t.

Schredderrückstände sind ein sehr inhomogenes Materialgemisch mit hohem Feinkornanteil. Einen erheblichen Anteil dieses Gemisches stellen Kunststoffe, daneben sind aber auch andere organische Stoffe als auch anorganische Materialien enthalten. Die Anteile der verschiedenen Materialien sind abhängig von den jeweiligen Schreddervormaterialien und können in einem weiten Bereich variieren. Aus der möglichen Bandbreite der stofflichen Zusammensetzung resultieren variable mechanische, chemische und physikalische Eigenschaften der Schredderrückstände.

Aufgrund ihres Heizwertes können Schredderrückstände thermischen Abfallbehandlungsverfahren zugeführt werden; dagegen ist der Einsatz von Schredderrückständen als Ersatzbrennstoff in Kraftwerken und industriellen Produktionsanlagen nicht ohne eine vorgeschaltete Aufbereitung möglich.

Auch die stoffliche Verwertung der Schredderrückstände setzt in der Regel vorgeschaltete Aufbereitungs- oder Umwandlungsprozess voraus. Durch mechanische Verfahren können in Grenzen brennbare Bestandteile (z.B. Kunststoffe) und inerte Materialien (z.B. Metalle) von sonstigen Reststoffen getrennt werden; häufig ist eine Verwertung der jeweiligen Teilfraktionen möglich. Die werkstoffliche Verwertung des Kunststoffanteils ist aufgrund der heterogenen Zusammensetzung und der Verunreinigung durch Fremdstoffe nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Die Zusammensetzung der Schredderrückstände wird sich zukünftig verändern. Neben dem fortgesetzten Trend zum verstärkten Einsatz von Kunststoffen im Automobilbau werden auch andere Metalle – insbesondere Aluminium – zunehmend Verwendung finden. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Hersteller von Fahrzeugen mit Aluminiumkarosserien ansteigen wird.

Mit dem verbreiteten Einsatz dieser "leichten" Werkstoffe könnten sich zukünftig weitere Probleme bzgl. der Quotenerfüllung ergeben. Aufgrund der im Vergleich zu Stahl geringeren Dichte von Aluminium nimmt der Masseanteil der Metalle am Gesamtgewicht der zukünftigen Altfahrzeuge, und insbesondere im Verhältnis zu den nicht-metallischen Materialien, weiter ab, während deren Massenanteil durch den zunehmenden Einsatz von Kunststoffen stetig zunimmt. Die Altfahrzeug-Verordnung greift dieser Entwicklung vor und schreibt den im Schredder aufbereiteten Restkarossen einen konstanten Metallanteil von 70 % der Altfahrzeugmasse zu. Einem unter ökologischen Aspekten kontraproduktiven Verzicht auf "Leichtbau-Werkstoffe" wird damit gegengesteuert [EUWID 39 2003].

Einen weiteren Einfluss auf die Zusammensetzung der Schredderrückstände hat der verstärkte Einsatz von Elektronik im Automobil. In einem Fahrzeug der Oberklasse sind heute bis zu 70 elektronische Steuergeräte mit einem Leitungsnetz von 2 km Länge installiert [Schulzki]. Es ist abzuwarten, wie sich diese Entwicklungen auf die Zusammensetzung der Schredderrückstände auswirken werden.

Weitgehend unklar ist dagegen die Entwicklung beim zukünftigen Aufkommen der Schredderrückstände. Aufgrund der stetig wachsenden Anzahl zugelassener Kraftfahrzeuge auf deutschen Straßen ist auch mit einem weiteren Anstieg der Fahrzeugstilllegungen zu rechnen. Unter Berücksichtigung der Veränderungen bei den Werkstoffen würde aus der Entsorgung dieser Altfahrzeuge ein deutlich gestiegenes Aufkommen an Schredderrückständen resultieren. Der tatsächliche Verbleib der zukünftigen Altfahrzeuge ist allerdings ungewiss; der Trend zum Export der Altfahrzeuge und ihrer fortgesetzten Nutzung in Ost-Europa, dem Nahen- und Mittleren Osten, sowie in Afrika und Asien ist ungebrochen.

Die **aktuelle Entsorgungssituation** der Schredderrückstände wird aufgrund der Materialeigenschaften und in Ermangelung wirtschaftlicher Verwertungsverfahren durch die Entsorgung auf Deponien geprägt. Allerdings ist die Ablagerung der Schredderrückstände ab dem 01. Juni 2005 nicht mehr möglich, da die unbehandelten Materialien nicht die in der Abfallablagerungs-Verordnung [AbfAbIV] geforderten Zuordnungsparameter einhalten. Folglich ist zum oben genannten Datum entweder ein anderer Entsorgungsweg zu erschließen oder ein geeignetes Behandlungsverfahren anzuwenden.

Weiterhin werden durch die Altfahrzeug-Verordnung [AltfahrzeugV] Quoten für die Verwertung der Altfahrzeuge festgelegt: Ab 01. Januar 2006 müssen 85 % der Altfahrzeugmasse verwertet werden, wobei 80 % der Altfahrzeugmasse einer Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung zuzuführen sind. Zum 01. Januar 2015 sollen die Quoten für die Verwertung auf 95 %, und bzgl. der Wiederverwendung und stofflichen Verwertung auf 85 % angehoben werden.

Rund 70 % der Altfahrzeugmasse werden als Fe- und NE-Metalle stofflich verwertet. Werden Restkarossen in Schredderbetrieben aufbereitet und der Metallanteil einer stofflichen Verwertung zugeführt ist dieser Wert festgeschrieben und bedarf keines weiteren Nachweises. Weitere 10 % nicht metallische Bauteile und Materialien müssen im Zuge der Vorbehandlung und Demontage einer Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung zugeführt werden. Der Rest von 20 % der Altfahrzeugmasse entfällt auf die Schredderrückstände.

Für die Erfüllung o.g. Verwertungsquoten der Altfahrzeug-Verordnung müssen:

- ab dem 01. Januar 2006 mindestens 25 Gew.-% der Schredderrückstände (d.h. 5 % der Altfahrzeugmasse) verwertet werden (energetisch und/oder stofflich)
- und ab dem 01. Januar 2015 mindestens 25 Gew.-% (d.h. 5 % der Altfahrzeugmasse) "stofflich" verwertet, und weitere 50 Gew.-% (d.h. 10 % der Altfahrzeugmasse) anderweitig verwertet werden (energetisch und/oder stofflich).

Bezogen auf das aktuelle Aufkommen von maximal 300.000 t Schredderrückständen aus Altfahrzeugen müssten folglich ab 01. Januar 2006 jährlich bis zu 75.000 t dieser Materialien verwertet werden. Gemäß diesem Szenario wären dann ab 01. Januar 2015 etwa 75.000 t/a stofflich, und weitere 150.000 t/a anderweitig zu verwertet. Eine exakte Prognose der zu diesem Zeitpunkt tatsächlich anfallenden Mengen ist allerdings schwierig. Die nicht verwerteten Anteile der Schredderrückstände aus Altfahrzeugen (2006: max. 225.000 t/a; 2015: max. 75.000 t/a) sowie die Schredderrückstände aus anderen Quellen (mindestens 150.000 t/a) müssen durch geeignete Verfahren behandelt und beseitigt werden.

Sowohl für die Verwertung von Schredderrückständen als auch für deren Behandlung und Beseitigung existieren bereits unterschiedliche technologische Ansätze. Der Reifegrad der jeweiligen Verfahren umfasst die Spanne zwischen großtechnischen Anwendungen mit umfangreicher Betriebserfahrung auf der einen, und ersten orientierenden Versuchen im Labor- oder Technikumsmaßstab mit eingeschränktem praktischem Bezug auf der anderen Seite.

Der Einsatz von Verfahren zur Entsorgung der Schredderrückständen wird nicht nur von der technischen Machbarkeit, sondern auch von der Anerkennung als Verwertungsverfahren im Hinblick auf die o.g. Verwertungsquoten beeinflusst. In diesem Zusammenhang kommt zwei im Februar 2003 vom Europäischen Gerichtshof gefällten Urteilen [C-228/00] [C-458/00] eine große Bedeutung zu. Nach Ansicht des Gerichtshofes kann nur dann von einer energetischen Verwertung des Abfalls gesprochen werden, wenn darin der Hauptzweck der Maßnahme besteht. Neben dem Ersatz eines Primärenergieträgers betrachtet der Europäische Gerichtshof den fortgesetzten Betrieb der Anlage unter Einsatz eines Primärenergieträgers (Kohle, Öl, Gas) im Falle des Ausfalls bzw. Wegbleibens des Abfalls als wesentliches Merkmal. Folglich ist davon auszugehen, dass die Mitverbrennung von Abfällen in Kraftwerken, Zementwerken oder anderen Produktionsanlagen als energetische Verwertung eingestuft werden.

Um die weitere Auslegung der Urteile des Europäischen Gerichtshofs, insbesondere die energetischen Verwertung von Abfällen in Abfallverbrennungsanlagen, ist eine kontrovers geführte Diskussion entbrannt, die noch nicht abgeschlossen ist.

Eine umfassende Betrachtung aller Verfahren im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich gewesen; es wurde eine Auswahl solcher Verfahren berücksichtigt, die bereits heute oder in absehbarer Zeit praktisch anwendbar erscheinen oder die in fachbezogenen Diskussionen erwähnt werden.

Die Mitverbrennung der Schredderrückstände in **Abfallverbrennungsanlagen** gemeinsam mit Hausmüll bzw. Restmüll wird an mehreren Standorten in Deutschland (z.B. Würzburg) und im Ausland (z.B. Schweiz) praktiziert. Die Emissionen der Abfallverbrennungsanlagen wurden sowohl bei der großtechnischen Mitverbrennung als auch bei Großversuchen nicht beeinflusst. Allerdings ist bekannt, dass die Mitverbrennung von Schredderrückständen im Vergleich zur ausschließlichen Verbrennung von Hausmüll bzw. Restmüll zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen in der Rostasche führt. Aus diesem Grund ist in der Schweiz die Mitverbrennung auf einen Anteil von 5 % beschränkt. Eine gleichmäßige Verteilung der dezentral anfallenden Schredderrückstände auf alle Abfallverbrennungsanlagen in Deutschland würde deren Massenanteil aber auf weniger als 5 % beschränken.

Die Mitverbrennung in Abfallverbrennungsanlagen stellt zwar ein im großtechnischen Maßstab erprobtes Verfahren zur Behandlung von Schredderrückständen dar, allerdings wird eine zukünftige Anwendung in Deutschland durch drei Aspekte begrenzt:

-
- Die Vorgaben der Ablagerungs-Verordnung werden ab 2005 zu einem erhöhten Bedarf an thermischen Entsorgungskapazitäten führen. Verschiedene Studien prognostizieren ein Defizit hinsichtlich der verfügbaren Behandlungskapazitäten (MVA und MBA) für Siedlungsabfälle in einer Größenordnung von bis zu 6,1 Mio. t/a. Folglich ist davon auszugehen, dass die verfügbaren thermischen Abfallbehandlungsanlagen ab 2005 vollständig mit Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen ausgelastet sein werden.
 - Der Heizwert der Schredderrückstände liegt mit durchschnittlich 14.000 kJ/kg über den Heizwerten von Hausmüll, die im Bereich von 8.000 bis max. 11.000 kJ/kg zu erwarten sind. Aufgrund der Auslegung und der Betriebsweise der Abfallverbrennungsanlagen ersetzen Schredderrückstände überproportionale Hausmüllmengen. Folglich ist im Vergleich zu Hausmüll mit höheren Entsorgungskosten zu rechnen.
 - Aufgrund der Urteile des Europäischen Gerichtshofs wird zur Zeit der Verwertungsstatus von Abfallverbrennungsanlagen diskutiert.

Eine erprobte Alternative zur Mitverbrennung der Schredderrückstände in der MVA ist die Behandlung mit dem **TwinRec**-Verfahren der Firma **EBARA**. Dieses Verfahren ist eine Kombination aus Wirbelschichtvergasung und nachgeschalteter Brennkammer. Aus dem Rückstand der Wirbelschichtvergasung können verschiedene Wertstofffraktionen zurückgewonnen werden. Die heißen Rauchgase aus der Brennkammer werden zur Dampferzeugung genutzt. Rückstände aus der Brennkammer fallen als glasartige Schlacke an. In Japan werden bereits mehrere großtechnische Anlagen mit Kapazitäten von über 100.000 t/a betrieben, in Europa existiert dagegen derzeit keine entsprechende Anlage. Die Technologie ist geeignet, sowohl ausschließlich Schredderrückstände als auch Gemische aus Schredderrückständen und anderen Abfallmaterialien thermisch zu behandeln. Allerdings ist vor dem Hintergrund der Diskussion um die energetische Verwertung von Abfällen die Anerkennung als Verwertungsverfahren derzeit nicht gesichert.

Das **Thermoselect-Verfahren**, am Standort Karlsruhe als Alternative zur Abfallverbrennung mit Rostfeuerungen erstmals realisiert, stellt eine weitere Möglichkeit zur Entsorgung von Schredderrückständen dar. Die thermische Behandlung der Einsatzstoffe führt zu einem für verschiedene Zwecke nutzbaren heizwertreichen Produktgas, das am Standort Karlsruhe in einem Dampferzeuger zur Strom- und Wärmeerzeugung verbrannt wird. Die Möglichkeit zum Einsatz von Schredderrückständen wurde mit einem Großversuch an der Anlage in Karlsruhe nachgewiesen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist nicht absehbar, ob und in welchem Umfang in dieser Anlage freie Kapazitäten zur Behandlung von Schredderrückständen zur Verfügung stehen. Auch der Status der Anlage bzgl. einer energetischen Verwertung von Abfällen muss unter den bereits genannten Gesichtspunkten offen bleiben. Zu erwähnen ist die prinzipielle Möglichkeit einer stofflichen Verwertung des Prozessgases; hierzu liegen aber bislang keine Erkenntnisse vor.

Eine zusätzliche Variante zur thermischen Behandlung von Abfällen stellt die Mitverbrennung in Industriefeuerungen und Kraftwerken dar. Für eine Mitverbrennung im **Kraftwerk am Standort Hamm** (Kraftwerk Westfalen) werden Abfälle in einem vorgeschalteten Pyrolyse-Drehrohr zu Schwelgas und Pyrolysekoks umgesetzt. Das Pyrolysegas wird ohne weitere Aufbereitung im Kraftwerkskessel verbrannt; der Pyrolysekoks wird vor der Verbrennung aufbereitet und gemahlen. Nach Informationen der Autoren werden am Standort Hamm entgegen den ursprünglichen Planungen aus genehmigungsrechtlichen Gründen keine Schredderrückstände eingesetzt. Hinsichtlich der Diskussion um die energetische Verwertung

von Abfällen stellt diese Verfahrenskombination dennoch eine interessante Alternative dar: Es erfüllt die Forderungen nach dem Ersatz eines Primärenergieträgers. Ferner ist davon auszugehen, dass bei einer unzureichenden Verfügbarkeit der Abfälle wiederum auf den Primärenergieträger zur Energieerzeugung zurückgegriffen wird. Es ist davon auszugehen, dass dieser Form der Abfallbehandlung der Status einer energetischen Verwertung zugesprochen wird.

Im **Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (SVZ)** werden ausgewählte und aufbereitete Abfallstoffe gemeinsam in verschiedenen Vergasungsprozessen umgesetzt. Als Zielprodukt entsteht Methanol, eine Basischemikalie der chemischen Industrie. Der relativ neue Schlackebadvergaser (British Gas und Lurgi - BGL) des SVZ ist für einen Durchsatz von 220.000 – 250.000 t Einsatzstoffe (Kohle, Kunststoffabfälle, DSD-Rückstände, etc.) konzipiert; bis zu 60.000 t/a Schredderrückstände könnten in der Anlage verwertet werden. Nach einer eventuellen Kapazitätserweiterung um einen zweiten BGL-Vergaser könnten zukünftig bis zu 120.000 t SR/a im SVZ stofflich verwertet werden.

Die Möglichkeit der Verwertung von Schredderrückständen wurde im Rahmen eines Großversuchs im Frühjahr 2003 nachgewiesen; eine behördliche Anerkennung als Verwertungsverfahren für Schredderrückstände liegt vor. Damit stellt das Vergasungsverfahren am Standort Schwarze Pumpe das derzeit einzige verfügbare Verfahren zur stofflichen Verwertung von Schredderrückständen dar. Schredderrückstände wurden versuchsweise auch in anderen Vergasungsverfahren eingesetzt, aber keines dieser Verfahren ist großtechnisch erprobt oder in absehbarer Zeit kommerziell einsetzbar.

Neben thermischen Verfahren können Schredderrückstände auch mechanisch behandelt werden. Bereits seit Mitte der neunziger Jahre werden in Anlagen des belgischen Metallverwerter **Galoo SA** Schredderrückstände mechanisch aufbereitet und teilweise verwertet; die Vorgaben der AltfahrzeugV können aber mit diesem Verfahren bislang nicht erfüllt werden.

Pläne für die Errichtung einer Pilotanlage nach dem **SiCon-Verfahren** am Standort Salzgitter zur mechanischen Aufbereitung von Schredderrückständen mit dem Ziel einer teilweisen stofflichen Verwertung einzelner Fraktionen haben sich bislang nicht konkretisiert. Das Verfahren wird neben VW von weiteren deutschen als auch europäischen Automobilbauern favorisiert. Obgleich bislang keine belastbaren Informationen bzgl. Leistungsfähigkeit und Kosten dieses Verfahrens verfügbar sind, werden dem Verfahren gute Chancen bzgl. einer Einstufung als stoffliche Verwertung von Schredderrückständen zugesprochen.

Im Rahmen dieser Arbeit standen bereits angewandten Techniken und die aktuell diskutierten Konzepte im Mittelpunkt, so dass nicht alle Technologien und Verfahren berücksichtigt werden konnten. Zusätzlich zu den vorgestellten Möglichkeiten sind **andere Verfahren oder Verfahrenskombinationen** denkbar. Zu nennen ist u.a. eine Kombination einer mechanischen Aufbereitung zur Wertstoffgewinnung aus den Schredderrückständen (insbesondere Metalle - analog dem RESHMENT-Verfahren) und der anschließenden thermischen Behandlung der nicht-metallischen Fraktionen in einer Abfallverbrennungsanlage.

Darüber hinaus sind vor dem Hintergrund der Diskussion um die Urteile vom Europäischen Gerichtshof [C-228/00] [C-458/00] solche Verfahren und Konzepte interessant, welche die Erfordernisse einer energetischen Abfallverwertung erfüllen. Als aussichtsreiche Möglichkeit ist hier die Einbindung einer eigenständigen thermischen Anlage in den Betrieb eines Kraftwerks anzusehen. Möglich ist u.a. eine Dampfabgabe aus der Abfallverbrennungsanlage an das Kraftwerk, wie z.B. beim Müllheizkraftwerk am Standort Mainz ausgeführt. Weitergehende Konzepte wie das UPSWING-Verfahren [Vehlow] sehen darüber hinaus auch die Abgabe teilgereinigter Rauchgase in den Kraftwerkskessel vor. Neben der effizienteren Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie kann durch den Verzicht auf verschiedene

Anlagenkomponenten der MVA (und einer gemeinsamen Nutzung der vorhandenen Komponenten des Kraftwerks) der erforderliche Invest vermindert und ein Beitrag zur Verbesserung der Ökonomie erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit ist der von der kunststoffverarbeitenden Industrie verfolgte Ansatz, einzelne Fraktionen aus den Schredderrückständen als Reduktionsmittel in Hochöfen stofflich zu verwerten.

Bei der Auswahl geeigneter Verfahren zur Entsorgung von Schredderrückständen ist grundsätzlich das dezentralen Aufkommen dieser vergleichsweise geringen Materialmenge zu bedenken. Dem Ökonomiegewinn z.B. großer thermischer Anlage stehen Schwierigkeiten und zusätzliche Kosten für Logistik und Transport der Schredderrückstände gegenüber. In wieweit aktuelle Konzepte für eine thermische Abfallbehandlung in dezentralen Kleinanlagen auch bzgl. der Schredderrückstände einen Lösungsweg darstellen können, muss an dieser Stelle offen bleiben.

Allerdings muss grundsätzlich festgestellt werden, dass vor dem Hintergrund einer nicht absehbaren Entwicklungen beim zukünftigen Aufkommen der Schredderrückstände die Ausrichtung einer Entsorgungsanlage ausschließlich auf diese Materialien mit Risiken verbunden sein kann; diese Risiken werden durch den eng begrenzten regionalen Bezug einer Entsorgungsanlage zu einem oder wenigen Schredderstandorten nochmals gesteigert. In diesem Zusammenhang ist aber darauf hinzuweisen, dass ab 6/2005 nicht nur die Schredderrückständen, sondern zusätzlich große Mengen weiterer Abfälle, häufig heizwertreiche Sekundärabfälle (Sortierreste, heizwertreiche Fraktionen aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung) und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, behandelt werden müssen. Eine Berücksichtigung dieser Materialien zusammen mit Schredderrückständen könnte sowohl die Auslastung großer zentraler Entsorgungsanlagen sicherstellen, als auch die Risiken beim Betrieb kleiner dezentraler Entsorgungsanlagen senken.

Wirtschaftlichen Aspekten wird darüber hinaus für die gesamte Entsorgung der Schredderrückstände ab 6/2005 eine entscheidende Rolle zukommen, denn die nach der Demontage zurückbleibenden Restkarossen dürfen in der Europäischen Gemeinschaft frei gehandelt werden. Folglich muss ein deutscher Schredderbetrieb mit Standorten im europäischen Ausland konkurrieren.

In Anbetracht der verbleibenden Zeit bis zu den Stichtagen 01. Juni 2005 (AbfAbIV) bzw. 01. Januar 2006 (AltfahrzeugV) erscheint die fristgerechte Umsetzung geeigneter Konzepte – speziell zur Behandlung der Schredderrückstände - nicht wahrscheinlich. Das Beispiel in der Schweiz zeigt aber, dass geeignete Lösungen grundsätzlich relativ kurzfristig gefunden werden können. Der Beschluss zum Bau einer Anlage zur Entsorgung von Shredderrückständen im Jahre 2002 wird trotz erheblicher Verzögerungen in Folge der Insolvenz des Unternehmens Babcock Borsig Power zu einer Inbetriebnahme der Anlage noch vor Ende 2005 führen. Die Entscheidung für ein Konzept, dass die Behandlung der Schredderrückstände in erster Linie als Mittel zur Beseitigung von Problemabfällen begreift, und eine Technologie, welche auf die Einbindung von Schadstoffen in eine glasartige Matrix abzielt, ist vor dem Hintergrund der Entsorgungsstrukturen für Altfahrzeuge in der Schweiz und den abfallwirtschaftlichen Leitlinien des Landes nachvollziehbar.

Für Deutschland kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vorhergesagt werden, mit welchen Verfahren Schredderrückstände zukünftig behandelt oder verwertet werden. Obgleich bereits verschiedene Verfahren großtechnisch erprobt und kommerziell einsetzbar sind, werden neben den verfahrenstechnischen Belangen auch ökonomische, ökologische, politische und juristische Aspekte einen Einfluss auf die notwendigen Entscheidungen haben.

7 Quellen

- [1999/31/EG] Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien. ABl. Nr. L 182. 16.7. 1999 S. 1.
- [2000/53/EG] Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge. ABl. Nr. L 269. 21.10.2000 S. 34.
- [2002/96/EG] Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Amtsblatt der EU. L 37. S. 24-38. 13.02.2003.
- [AbfAbIV] Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen - Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV). 20. Februar 2001.
- [ACEA] Association des Constructeurs Européens d' Automobiles (ACEA): "ELV country reporting charts". Brüssel, 2003. <http://www.acea.be>. <http://www.acea.be/ACEA/20030528PublicationsCountryCharts.pdf>.
- [Achterbosch] Achterbosch, M.; Richers, U.: "Stoffströme und Investitionskosten bei der Rauchgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen". Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6306, Juli 1999.
- [Ahrens] Ahrens-Botzong, R. und Redmann, E.: "Behandlung von Restmüll: Das Schwel-Brenn-Verfahren". UTA 4 (1993) Nr. 2, S. 121-125.
- [AltautoV] Verordnung über die Überlassung und umweltgerechte Entsorgung von Altautos - Altauto-Verordnung (AltautoV). 4. Juni 1997.
- [AltfahrzeugG] Gesetz über die Entsorgung von Altfahrzeugen - Altfahrzeug-Gesetz (AltfahrzeugG). 21. Juni 2002.
- [AltfahrzeugV] Verordnung über die Überlassung und umweltgerechte Entsorgung von Altfahrzeugen - Altfahrzeug-Verordnung (AltfahrzeugV). 21. Juni .2002
- [Ando] Ando, G.; Steiner, C.; Selinger, A.; Shin, K.: "Automobile Shredder Residue Treatment in Japan - Experience of 95 t ASR Recycling and Recovery available for Europe through TwinRec". International Automobile Recycling Congress. 13.-15. März 2002. Genf, Schweiz.
- [Anton] Anton, F.: "Das KWU-Schwelbrennverfahren". in: VDI (Hg.): "Thermische Abfallentsorgung". VDI Bericht 1192. S: 349-379. Tagung in Veitshöchheim, 27.-28. Juni 1995. VDI-Verlag Düsseldorf 1995.
- [APV] Vollzug AltfahrzeugV. Ausschuss Produktverantwortung und Rücknahmepflicht APV, Beschluss zur 10. Sitzung am 17./18. Juni 2003 in Trier zum Thema Vollzug AltfahrzeugV Anhang 3.2.3.3. www.muf.rlp.de/inhalt/107/download/1071_albrecht.pdf.
- [ARGE-Altauto] ARGE-Altauto: "1. Monitoringbericht der ARGE-Altauto". Frankfurt, März 2000.

-
- [AVG] Abfallentsorgungs- und Verwertungsgesellschaft Köln mbH (AVG): Die Restmüllverbrennungsanlage Köln. Notwendigkeit, Genehmigungsverfahren, Umweltverträglichkeit". Firmenschrift der AVG. August 1995.
- [AVV] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis. AVV - Abfallverzeichnis-Verordnung. 10. Dezember 2001.
- [Bart] Bart, M.; Johnke, B.; Butz, W.: "Thermische, mechanisch-biologische Behandlungsanlagen und Deponien für Rest-Siedlungsabfälle in der Bundesrepublik Deutschland". 5. Auflage. Januar 2001. Umweltbundesamt. Fachgebiet III 3.3 "Abfallbehandlung, Ablagerung".
- [BDSV 1] Bundesverband der deutschen Stahl-Verwerter: "FAS – Fachgruppe Schredder, Standorte. <http://www.bdsv.de/organi/unterorg/fas/standort.php>
- [BDSV 2] Bundesverband der deutschen Stahl-Verwerter. Persönliche Mitteilung, Juli 2003.
- [BMU 1] Freiwillige Selbstverpflichtung der Wirtschaft und Altkar-Verordnung – eine Information des Bundesumweltministeriums. BMU, Referat WA II 4 (30114-6/0), Bonn, 1997.
- [BMU 2] BMU: "Eckpunkte künftiger Rechtsvorschriften zu Elektro- und Elektronik-Altgeräten in Deutschland". Stand April 2003. <http://www.bmu.de>.
- [Buchwalder] Buchwalder, J.; Großpietsch, K.-H.; Hartig, W.; Janz, J.; Längen, H. B.; Schmöle, P.: "Anforderungen an Reststoffe für das Einblasen in den Hochofen". Stahl und Eisen, 123 (2003) Nr. 1. S. 29 – 37.
- [Burazerovic] Burazerovic, M.: "Aus alt mach neu". VDI Nachrichten. 5. September 2003.
- [Begründung-AfG] Begründung zum Gesetzentwurf der Bundesregierung über ein Gesetz zur Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Gesetz – AltfahrzeugG). Bundesumweltministerium, 05. Dezember 2001.
- [Bez] Bez, J.; Goldhan, G.; Buttker, B.: "Methanol aus Abfall". Müll und Abfall 33 (2001) Heft 3 S. 158-162.
- [Bothe] Bothe, D.: "Und sie verwerten doch !" Müll und Abfall 35 (2003) Heft 8. S. 396-405.
- [Buch] Buch, T.: "Nur im Ausnahmefall". Müllmagazin 16 (2003) Heft 2. S. 36-39.
- [Buttker] Buttker, B.: "Vergasung von Shredderleichtfraktion in der Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH". VDI-Seminar 439101 "Stoffliche und energetische Verwertung von Schredderrückständen", 20. - 21. November 2003, Dortmund.
- [C-228/00] Urteil des Europäischen Gerichtshofs (5. Kammer): Rechtssache C-228/00, Kommission der EU gegen Großherzogtum Luxemburg, unterstützt durch Republik Österreich. (Betrifft Zementherstellung) 13. Februar 2003.

-
- [C-458/00] Urteil des Europäischen Gerichtshofs (5. Kammer): Rechtssache C-458/00, Kommission der EU gegen die Bundesrepublik Deutschland. (Betrifft Abfallverbrennungsanlage) 13. Februar 2003.
- [Christen] Christen, D.: "Zusammensetzung von Altfahrzeugen nach Stoffgruppen und ihre Entwicklung". IGEA, Bern, 25.10.1997.
- [Clüsserath] Clüsserath, C; et al.: "Konzepte zur Reduzierung und Verwertung". Recycling –Magazin 56 (2001) Ausgabe 19, S. 8 – 11.
- [CTU 1] Conzepte Technik Umwelt AG:
"Company Portrait". Firmenschrift.
- [CTU 2] Conzepte Technik Umwelt AG: "Der RESHMENT Prozess".
Firmenschrift. Januar 2002.
- [DBT] Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Birgit Homburger, Marita Sehn, Ina Albowitz, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP vom 17. Oktober 2001 zur "Zukunft der Deponierung und Verwertung von Abfällen".
Deutscher Bundestag, Berlin 2001.
- [Debaere] Debaere, R.; Francois, O.: "Galloo Shredder Residue Treatment Line (SRTL)". Plastics in End-of-Life Vehicles, Copyright 2003.
http://www.plastics-in-elv.org/pdfs/mat_rec_29.pdf.
- [Dehoust] Dehoust, G.; Nuphaus, L.; Gebhardt, P.: "Gutachterliche Stellungnahme zur energetischen Verwertungsanlage für Shredderleichtfraktion in Lahntal-Großfelden.
Öko-Institut. Darmstadt. Juli 1999.
- [Depmeier] Depmeier, L.; Weigand, P.; Vetter, G.: "Ökologische Bewertung des Schwel-Brenn-Verfahrens zur Restmüllverwertung".
Müll und Abfall 27 (1995) Heft 7 S. 480-489
- [Dolde] Dolde, K.-P.; Vetter, A.: "Verwertung und Beseitigung bei der Verbringung von Abfällen zur Verbrennung zwischen EU-Mitgliedstaaten". Umwelt- und Planungsrecht. Zeitschrift für Wissenschaft und Praxis Nr. 22 (2002) Heft 8. S. 288 – 295.
- [Drost 1] Drost, U.; Kaiser, W.: "Thermoselect - An Advanced Field Proven High Temperature Recycling Prozess". Waste Symposium 2003. 4 th International Symposium on Waste Treatment Technologies.
29. Juni - 2. Juli 2003. Sheffield, Großbritannien.
- [Drost 2] Drost, U.; Eisenlohr, F.; Hüvel, B.; Kaiser, B.; Kaiser, W.; Kutzmutz, S.; Stahlberg, R.: "Thermoselect- Hochtemperatur-Recycling - Erweiterter Einsatz zur Verwertung von Shredderleichtfraktionen". VDI Wissensforum. Seminar 43 5915. "BAT- und preisorientierte Dioxin-/ Rauchgasreinigungstechniken 2003 für Verbrennungs- und Feuerungsanlagen. München, 18.-19. September 2003.
- [EBARA 1] EBARA: "TwinRec Reference List". Firmeninformationen. 2003.
- [EBARA 2] EBARA: "EBARA received Order from Malaysian Government for World 's Largest Waste Gasification System".
Presseinformation. 27 Februar 2003.
- [EBARA 3] EBARA: "Gasification and Ash-melting System". Firmeninformation.

-
- [EBARA 4] EBARA: "TwinRec Plant Aomori, Japan": Firmeninformation.
http://www.ebara.ch/downloads/ebara_plant_sheet_aomori.pdf.
- [EEB] Eurpaen Environmental Bureau (EEB): "EEB Policy Statement on Credible Recovery Operations".
http://www.eeb.org/activities/waste/eeb_policy_statement_on_credible_recovery-27_03_03.htm
- [EP] Graphische Darstellung.
Entsorgungspraxis 10 (1992) Heft 3. S. 84.
- [EUCAR] EUCAR Recycling GmbH: "Recycling von großen Kunststoffbauteilen aus der Altfahrzeugverwertung".
Zwischenbericht. Saarbrücken, 11. Juli 2003.
http://www.muf.rlp.de/inhalt/107/download/1071_eucar1.pdf
- [EUWID 42 1999] Salyp: Neuartige SLF-Sortierung erzeugt sortenreine Granulate.
EUWID Nr. 42 vom 19. September 1999.
- [EUWID 3 2003] Altauto: Diskussion in Brüssel über einheitliche Berechnung der Quoten. EUWID-Recycling, Nr. 3 vom 14. Januar 2003, S. 21.
- [EUWID 4 2003] Vollzugshinweis für Altauto-Verwertung. EUWID Nr. 4 vom 21. Januar 2003, S. 21.
- [EUWID 10 2003] Schweizer Verwertungsanlage für Schredderabfälle plant Voest-Alpin. EUWID Nr. 10 vom 04. März 2003, S. 29.
- [EUWID 11 2003] Finanzierung der Verwertung von Altautos über eine Stiftung. Haase & Naundorf Umweltconsulting GmbH, Bad Honnef, EUWID Recycling Nr. 11 vom 11.03.2003.
- [EUWID 12 2003] Planung der SLF-Anlage kostet fast sieben Mio. EUWID Nr. 12 vom 18. März 2003, S. 30.
- [EUWID 27 2003] NN: "SVZ darf Shredderleichtfraktion aus Altautos stofflich verwerten." EUWID Nr. 27 vom 01. Juli 2003, S. 7.
- [EUWID 28 2003] NN: "WEEE-Umsetzung: Entwurf für Herbst geplant". EUWID Nr. 28. vom 08. Juli 2003, S. 23.
- [EUWID 29 2003] Zahl der Auto-Demontagebetriebe sinkt offenbar dramatisch. EUWID Nr. 29 vom 15.07.2003, S. 13.
- [EUWID 30 2003] NN: "NRW lässt nur wenig Spielraum für Verwertung in Müllverbrennungsöfen". EUWID Nr. 30 vom 22. Juli 2003, S. 20.
- [EUWID 32 2003] Neueinstufung für SLF in Rheinland-Pfalz. EUWID Nr. 32 vom 05. August 2003, S. 23.
- [EUWID 33 2003] EU-Altauto-Richtlinie jetzt von Frankreich umgesetzt. EUWID Nr. 33 vom 12. August 2003, S. 18.
- [EUWID 36 2003] NN: "Weisung aus Wien bringt Projekt von Voest-Alpine in Schwierigkeiten". EUWID Nr. 36 vom 02. September 2003, S. 29.
- [EUWID 39-1 2003] NN: "MURL schlägt Bedingungen für energetische Verwertung in MVA vor". EUWID Nr. 39 vom 23. September 2003, S. 21.
- [EUWID 39-2 2003] VW: Altauto-Verordnung nicht gegen Leichtbau. EUWID Nr. 39 vom 23. September 2003, S. 12.

-
- [EUWID 41 2003] Altauto: LAGA kassiert Ausbaupflicht. EUWID Nr. 41 vom 07. September 2003, S. 21.
- [EUWID 42 2003] Bayern nimmt Stellung zu EuGH-Urteil. EUWID Nr. 42 vom 14. Oktober 2003, S. 23.
- [EUWID 49 2003] NN: "Entsorgungsmarkt Siedlungsabfälle". EUWID NR. 49 vom 02. Dezember 2003. S. 19.
- [Ferrão] Ferrão, P.: "Life Cycle Assessment and Ecodesign". ARW: Life Cycle Analysis for Assessing Energy and Environmental Implications of Information Technology. September 1. – 3, 2003, Budapest, Hungary.
- [Friedl 1] Friedl, C.: "EU macht es dem PKW-Leichtbau künftig schwer". VDI-Nachrichten, 13.10.2000, S. 5.
- [Friedl 2] Friedl, C.: "Schreddermüll macht schwere Probleme". VDI-Nachrichten, 20.10.2000.
- [François] François, O.: "Mass balance in post-shredding technology: results of a trial based on the shredding of 201 ELV's – a joint work of GALLOO, PSA and Renault". International Automobile Recycling Congress, March 12 – 14, 2003, Geneva, Switzerland.
- [Fujimura] Fujimura, H.; Oshita, T.; Naruse, K.: "Fluidized-Bed Gasification and Slagging Combustion System". IT3 Conference. 14.-18. Mai 2001. Philadelphia, USA.
- [Galoo] Europäische Patentanmeldung: Verfahren und Vorrichtung zum Trennen aller Arten von Kunststoffmaterialien. Galoo Plastics (S.A.), Port Fluvial, 1999.
- [Goldmann] Goldmann, D.: "Mechanische Trennung der Shredder-Leichtmüllfraktion als Vorstufe zur thermischen Verwertung". In: Schmidt, J.; Leithner, R. (Hrsg.): "Automobilrecycling". Springer-Verlag. Berlin 1995. S. 165 – 174.
- [Grüßing] Offenlegungsschrift: Reaktor und Verfahren zum Vergasen und/oder Schmelzen von Stoffen. Maschinen- und Stahlbau GmbH. Roland Grüßing, Unterkatz, 2001.
- [Gudenau] Gudenau, H. W.; Babich, A.: "Ersatzenergieträger im Hochofen: Stand der Technik, Ausblick und Einschränkungen". VDI-Seminar "Ersatzreduktionsmittel und Reststoffe in der Metallurgie". Aachen, Oktober 2002.
- [Hick] Hick, H.; Wissmann, G.; Merz, A.: "Einbau einer Müll-Klärschlamm-Homogenisierungsanlage in das Müllheizkraftwerk Göppingen". Abschlussbericht. 283 Seiten. BMFT Förderkennzeichen 14 30 201. Abschlussdatum des Vorhabens Dez. 1987. Veröffentlichungsdatum Nov. 1991.
- [HIM] HIM GmbH: "Interner Sachbericht. Vororientierender Versuch zum Schmelzvergasen von Schredderrückständen und MBA-Fraktion auf der Grundlage des HTSV-Verfahrens". Wiesbaden, September 2001.
- [Jopp] Jopp, K.: "Aluminiummotor aus einem Guss". VDI Nachrichten Nr. 35. 29. August 2003.

-
- [Kaminski] Kaminski, R.; Figgen, M.: "Alles in den Ofen oder alles offen ?". Umweltpraxis 3 (2003) Heft 4. S. 50-51.
- [KBA a] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): "Statistiken - Kraftfahrzeuge und -anhänger - Zahlen, Daten, Fakten". Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. <http://www.kba.de>.
- [KBA b] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): "Löschungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugarten". Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. <http://www.kba.de>.
- [KBA c] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): "Das Alter von Personenkraftwagen". Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg. <http://www.kba.de>.
- [Kim] Kim, J.G.; Winske, P: "Energetische Verwertung der Shredderleichtfraktion aus Autowracks". EntsorgungsPraxis 18 (2000) Heft 3. S. 16 – 20.
- [Kitzerow] Kitzerow, H.-G.: "Wirbelschichtfeuerungen für industrielle Reststoffe". in: Thomé-Kozmiensky, K.J.: "Reaktoren zur thermischen Abfallbehandlung". EF Verlag für Energie und Umwelttechnik. Berlin 1993.
- [Kleppmann] Kleppmann, F.; Dresch, H.; Mark, F.E.: "Energetische Verwertung von Automobilshredder-Restabfall (RESH) im MHK Würzburg". In: VDI (Hrsg.): VDI Berichte 1376. S. 299-317.
- [KrW-/AbfG] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen - Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG). Vom 27. September 1994.
- [Kuchta] Kuchta, K.; Völker, M.: "Shredderleichtfraktion in dezentralen Feuerungsanlagen". 5. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung. Zukunft in Deutschland und Europa. 9.-11. Oktober 2000.
- [Laage] Laage, B.: "Pilotanlage zur SLF-Aufbereitung". Vortrag auf dem Symposium "Ein Jahr Altautoverordnung und Freiwillige Selbstverpflichtung" der ARGE-Altauto am 15.04.1999, Budenheim/Mainz. R-Plus Recycling GmbH, Eppingen.
- [LAGA 1] NN: "Top 6: Auswirkungen der aktuellen Rechtsprechung des EuGH auf den Vollzug des Abfallrechts". Auszug aus der Beschlussübersicht der 85. ARA-Sitzung der LAGA am 8.-9. Juli 2003 in Trier.
- [LAGA 2] Bericht der LAGA zur 60. Umweltministerkonferenz: Umsetzung der Ablagerungsverordnung, Entwurf, Mai 2003.
- [LEE] Lurgi Energie und Entsorgung GmbH. Homepage des Unternehmens. <http://www.mg-lee.de/deutsch/nbsp/index.html>.
- [LfU] LfU Baden-Württemberg: "Entsorgung von Altfahrzeugen in Baden-Württemberg – Sachstand 12/1994". Texte und Berichte zur Abfallwirtschaft Heft 7, Karlsruhe 1995.
- [Mark] Mark, F. E.; Fisher, M.M.; Smith, K.A.: "Energy recovery from automotive shredder residue through co-combustion with municipal solid waste". Association of plastics manufacturers in Europe (APME). September 1998.

-
- [Mayer] Mayer, F.; Iblher, P.; Holtwick, A.; Kreiser, H.:
"Genehmigungsverfahren: Planfeststellung für die Schwelbrennanlage
in Fürth". Müll und Abfall 26 (1994) Nr. 3 S. 121-130.
- [Nathani] Nathani, C.; Arnsberg, W.: "Materialfluß spezifischer Abfallarten und
Abfallkennziffern bedeutender Bereiche – Endbericht Teil I".
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI),
Karlsruhe, 1998.
- [NN a] NN: "Das Recyclingauto für das Jahr 2000". ADAC Motorwelt.
August 1991.
- [NN b] NN: "Entsorgung von Abfällen: Europäischer Gerichtshof stellt neue
Weichen". Umwelt (2003) Heft 4. S. 235-237.
(Zeitschrift vom BMU).
- [NN c] NN: "Resh-Entsorgung: verzögert".
RECYCLING magazin (2002) Ausgabe 20. S. 6.
- [NUM] Niedersächsisches Umweltministerium: "Kfz-Recycling".
Abschlussbericht des Arbeitskreises 16.. Kommission der Nieders.
Landesregierung zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen.
Hannover, 1995 und 1998.
- [Neubacher] Neubacher, F.P.: "Thermische Verwertung von
Autoshredderrückständen". In: Thomé-Kozmiensky, K.J.: "Recycling
von Abfällen". S. 313-320. EF-Verlag Berlin. 1989.
- [Noell] Firmenschrift der Noell Abfall- und Energietechnik GmbH
(Aufbereitungstechnik, Goslar): "Aufbereitungstechnik
Automobilrecycling Demontageanlagen für Altagos". Oktober 1994.
- [Obermeier] Obermeier, T.; Markowski, J.: "Gasification of shredder residue at
SVZ Schwarze Pumpe". International Automobile Recycling
Congress. Geneva, März 2002.
- [Öko-Institut] Jenseit, W.: "Recovery Options for Plastic Parts from End-of-Life
Vehicles: an Eco-Efficiency Assessment". Identiplast IV. Brussels,
28. – 29. April 2003, Öko-Institut e.V., Darmstadt.
- [Orth] Orth, P.: "Lösungsansätze für die Verwertung der
Shredderleichtfraktion". VKE, Mainz, 05. September 2002.
- [Paschlau] Paschlau, H.; Rindtorff, E.: "Die EuGH-Entscheidungen zur Abfall-
Verbrennung und Abfall-Mitverbrennung und ihre Folgen".
Müll und Abfall 35 (2003) Heft 6. S. 264-275.
- [Pauly] Pauly, M.W.; Lück, D.R.: "Neue Kriterien für die Zuverlässigkeit der
energetischen Verwertung".
Müll und Abfall 35 (2003) Heft 6. S. 112-116.
- [Pessel] Pessel, K.: "Zwischen Rotor und Rost". UmweltMagazin (2003)
Heft 1/2. S. 42-43.
- [Prognos 1] Prognos AG: "Branchen-Report Entsorgungswirtschaft – der Markt
für Entsorgungsleistungen bis zum Jahr 2010. Teilreport A:
Siedlungsabfälle". Basel, Berlin, Bremen, Köln, Mai 2000.
- [Prognos 2] Prognos AG: "Branchen-Report Entsorgungswirtschaft".
Basel, Berlin, Bremen, Köln, April 2003.

-
- [Pruckner] Pruckner, E.; Gorzawski, S.: "Monitoring der Pilotanlage zur SLF Aufbereitung bei der Fa. R-plus GmbH, Eppingen. Ergebnisse aus der ersten Monitoringphase Februar – Juli 2000". Steinbeis-Transferzentrum, Heilbronn, 21. September 2000.
- [SRU] Der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 2002 – für eine neue Vorreiterrolle. Metzler-Poeschel, Stuttgart, 2002.
- [Redmann] Redmann, E.; Ahrens-Botzong, R.: "Die thermische Behandlung von Auto-Shredder-Leichtfraktion im Siemens Schwel-Brenn-Verfahren". VGB-Konferenz "Thermische Abfallbehandlung 1992". 11.-12. November 1992 (VGB TB 215).
- [Rhodovi] Rhodovi, A.: "Neue Ergebnisse beim Schwel-Brenn-Verfahren: Kunststoff heizt gut". Entsorga (1993) Nr. 7/8, S. 34-39.
- [Richers] Richers, U.; Bergfeldt, B.: "Das Siemens Schwel-Brenn-Verfahren". Forschungszentrum Karlsruhe. Wissenschaftliche Berichte FZKA 5826. November 1996.
- [Rudolph] Rudolph, K.-U. et al.: "Stand der Behandlung und Verwertung von Shrederrückständen aus Altautos. Müll und Abfall 29 (1997) 12 S. 745 – 755.
- [RWE 1] RWE Power AG: Homepage des Unternehmens. Information zu den Standorten. <http://www.rwepower.com>.
- [RWE 2] RWE Power AG: "Projekt zur energetischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen im Kraftwerk Westfalen". Firmenschrift.
- [RWE 3] RWE Power AG: "Kraftwerk Westfalen. Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen. Kurzbeschreibung". Firmenschrift.
- [Salyp] Fa. Salyp: Unternehmensinformation. <http://www.salypnet.com>.
- [SA-2002] Stiftung Altauto Recycling Schweiz: "Jahresbericht 2002". Bern, 29. April 2003. <http://www.stiftung-autorecycling.ch>.
- [SA-Info8] Stiftung Altauto Recycling Schweiz: "Info Nr.8". März 2003.
- [Sattler] Sattler, H.-P.: "Processing Shredder Residue with WESA-SLF, the final stepp for End-Of-Life Vehicles". Internationaler Automobil Recycling Congress, Geneve, 05. – 07. März 2001.
- [Schaub 1] Schaub, M.: "Rohstoffliches Recycling am Beispiel der RESH-Verwertung mit dem RESHMENT-Prozess". Internetseite der Conzepte Technik Umwelt AG. <http://www.ctu.ch/>. Vermutlich auch als Tagungsbeitrag: ISWA Frühjahrstagung. Düsseldorf, 11. April 2002.
- [Schaub 2] Schaub, M.: "The RESHMENT Process: ASR processing to economically fulfil the EU directive on ELV handling". Firmenschrift der Conzepte Technik Umwelt AG.
- [Schaub 3] Schaub, M.; Christ, F.; Ritter, J.: "The RESHMENT Process: Miximized Reuse, Rexcycling and Recovery from Automotive Shredder Residue". Firmenschrift der Conzepte Technik Umwelt AG.
- [Schaub 4] Schaub, M.: "Der RESHMENT-Prozess". Stiftung Auto-Recycling. Schweiz, Info Nr. 7, März 2002.

-
- [Schaub 5] Schaub, M.; SR use in RESHMENT-Process. CT Environmental Ltd., Winterthur, Januar 2000.
- [Schenk] Schenk, M.: "Shredderleichtfraktion – Aufkommen und Entsorgung". 3. Euroforum-Fachtagung. Die Zukunft von Waste-to-Energy. Köln, 09.-10. November 1999.
- [Schingnitz] Geplanter Reststoffdurchsatz im Verwertungszentrum Schwarze Pumpe. Vorlesungsreihe "Vergasung", Seminar am Forschungszentrum Karlsruhe, 26. und 27. Juni 2003, Karlsruhe.
- [Schmidt] Schmidt, R.: "Das Mannesmann-Pyrolyseverfahren (Pyropleq-Verfahren)". VDI Bildungswerk. Seminar 43 40 33. Freiberg, 11.-12. März 1999.
- [Schneider] Schneider, W.; "Verdammt teuer und verdammt schwer". VDI-Nachrichten, Köln, 12. Juli 2002.
- [Schrickel] Schrickel, J.; Wolf, T.P.; Dröscher, F.; Fleischhauer, M.: "Umweltverträglichkeitsprüfung im Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz für eine thermische Müllbehandlungsanlage. VGB Kraftwerkstechnik 78 (1998) Heft 3 S. 86-99.
- [Schulz] Schulz, W.; Hauk, R.: "Kombination einer Pyrolyseanlage mit einer Steinkohlenkraftwerksfeuerung". 11. DVV-Kolloquium. "Stoffliche und thermische Verwertung von Abfällen in industriellen Hochtemperaturprozessen" Braunschweig. September 1998.
- [Schulzki] Schulzki-Haddouti, C.: "Gesucht: Software-Standards für Autos". VDI Nachrichten 10.10.2003.
- [Seifert] Seifert, W.; Buttker, B.; Vierrath, H.: "Brenn- und Synthesegas aus Abfall". Brennstoff Wärme Kraft 50 (1998) Heft 10. Spezialteil. S. S14-S18.
- [Selinger 1] Selinger, A.; Steiner, C.; Shin, K.: "TwinRec - Bridging the Gap of Car Recycling in Europe". International Automobile Recycling Congress. 12.-14. März 2003. Genf, Schweiz.
- [Selinger 2] Selinger, A.; Steiner, C.; Shin, K.: "TwinRec Gasification and Ash Melting Technology - Now also established for Municipal Waste". Waste Symposium 2003. 4 th International Symposium on Waste Treatment Technologies. 29. Juni - 2. Juli 2003. Sheffield, Großbritannien.
- [SiCon 1] Veröffentlichte internationale Anmeldung: WO02/34400 A1; Titel: Anlage und Verfahren zur Aufbereitung von Shredder-Rückständen und Verwendung einer erzeugten Granulat-Fraktion. Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg, 11. September 2001.
- [SiCon 2] Veröffentlichte internationale Anmeldung: WO02/34401 A1; Titel: Anlage und Verfahren zur Aufbereitung von Shredder-Rückständen. Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg, 11. September 2001.
- [SiCon 3] Veröffentlichte internationale Anmeldung: WO02/34402 A1; Titel: Anlage und Verfahren zur Aufbereitung von Shredder-Rückständen und Verwendung einer erzeugten Sand-Fraktion. Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg, 18. September 2001.

-
- [Sket] Firmenschrift der Sket Maschinen- und Anlagenbau AG (Walzwerke, Magdeburg): "Liniendemontage von Altautomobilen". April 1994.
- [Spanke] Spanke, V.: "Aufbereitung der Shredderleichtfraktion aus der Altautoverwertung". EntsorgungsPraxis 16 (1998) Heft 5. S. 26 - 34
- [Stadtmüller] Stadtmüller, J.; von Christen, F.E.; Schmidt, R.: "Kraftwerksintegrierte Pyrolyse von Heizwertreichen Ersatzbrennstoffen". in: VDI (Hrsg.): "Wege des Abfalls". S. 135-144. Tagungsbericht. Veitshöchheim, 10.-11. Mai 2000. VDI Verlag Düsseldorf 2000.
- [Stahlberg] Stahlberg, R.; Feuerriegel, U.: "Thermoselect - Energie- und Rohstoffgewinnung". In: Häßler, G.: "Thermoselect - Der neue Weg, Restmüll umweltgerecht zu behandeln". Verlag Karl Goerner, Karlsruhe 1995.
- [Stücheli] Stücheli, A.: "Technologien und Wirtschaftlichkeit von Recycling und Entsorgung von Altautos". Bericht im Auftrag der IGEA Stiftung zur Umweltgerechten Entsorgung von Motorfahrzeugen (Bern). Winterthur, Mai 2000.
- [TA Si] TA Siedlungsabfall. Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. 14. Mai 1993.
- [Thomé-K.] Thomé-Kozmiensky, K.-J.: "Kreislaufwirtschaft". EF-Verlag Berlin, 1994.
- [Technip] Technip-Coflexip: "Energie aus Abfall. Kraftwerk integrierte Abfall-Pyrolyse". Firmenschrift Technip.
- [Trechow] Trechow, P.: "Material-Mix macht Autos leichter". VDI Nachrichten. 18. Juli 2003.
- [UBA] UBA: "Umweltdaten online". Abfallaufkommen. <http://www.env-it.de/umweltdaten/jsp/dispatcher?event=WELCOME>.
- [VDA 1] Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA): "Werkstoffliche Verwertung von Kunststoffen aus Altfahrzeugen – Möglichkeiten und Grenzen. Abschlussbericht und Untersuchungsergebnisse des Projektes PRAVDA. Frankfurt, 1998.
- [VDA 2] Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA): "Freiwillige Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Altautoverwertung (Pkw) im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes".
- [VDA 3] Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA): "Auto 2000". Jahresbericht. Frankfurt, 2000.
- [Vehlow] Vehlow, J.; Hunsinger, H.; Kreis, S.; Seifert, H.: "Das UPSWING-Verfahren – Der Schlüssel zur kostengünstigen Abfallverbrennung". Forschungszentrum Karlsruhe – Nachrichten (32) 2000 Heft 3. S. 201 – 210.
- [VKE 1] Verband Kunststoff-erzeugende Industrie e.V. (VKE): "Kunststoffe im Automobil – Einsatz und Verwertung". Frankfurt, 2001.

-
- [VKE 2] Verband Kunststoff-erzeugende Industrie e.V. (VKE): "Kunststoffe und Verkehr: High-Tech auf neuen Wegen". VKE, Frankfurt, <http://www.vke.de/text/deutsch/verk.htm>
- [Vollrath 1] Vollrath, K.: "Verordnung führt zu tiefreichender Umschichtung". RECYCLING Magazin, Ausgabe 24, 1997, S. 14 – 18.
- [Vollrath 2] Vollrath, K.: "Kunststoffe aus Altfahrzeugen: Vorfahrt für die thermische Verwertung". Wasser, Luft, Boden 6 (2001), S. 61.
- [Wallau 1] Wallau, F.: "Die aktuelle Situation der Schredderbetriebe in der Kreislaufwirtschaft". Aachener Institute 9 (1997) S. 47
- [Wallau 2] Wallau, F.: "Kreislaufwirtschaftssystem Altfahrzeug". Dissertation, RWTH Aachen. Mai 2001.
- [Woidasky] Woidasky, J.; Stolzenberg, A.: "Verwertungspotential für Kunststoffteile aus Altfahrzeugen in Deutschland". Gutachten für das Umweltbundesamt. Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie. Pfinztal, Mai 2003.