



## **Diplomarbeit**

# Recycling- und Demontageuntersuchungen an Türmodulen im Automobilbau

erstellt am

**Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED)**

**Montanuniversität Leoben**

**Vorgelegt von:**

Dietmar J. Hofer, 9735068  
Lugitsch 23  
8091 Jagerberg

**Betreuer:**

Univ.-Ass. Mag. Dr. Wolfgang Staber  
O.Univ.Prof.Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber

Leoben, 26. September 2002

**GESPERRT!**

bis 26. September 2005

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass ich die vorliegende  
Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der  
angegebenen Quellen durchgeführt habe.

Leoben, 26.September 2002

Dietmar Josef Hofer

# Danksagung

Für das Zustandekommen dieser Diplomarbeit danke ich der Firma Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG und Co KG, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Martin Klade und Herrn Dipl.-Ing. Johannes Linderl, die diese Diplomarbeit erst ermöglicht haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuern, Herrn Dipl.-Ing. Martin Klade und Herrn Mag. Dr. mont. Wolfgang Staber, die mir stets hilfreich und ermutigend zur Seite gestanden sind und jederzeit eine offene Tür für mich hatten.

Weiters danke ich den Mitarbeitern der Magna Steyr Fahrzeugtechnik für ihr freundliches Entgegenkommen und ihr bereitwilliges zur Verfügung stellen von Informationen und für die Diplomarbeit nötige Hilfestellungen.

Auch möchte ich an dieser Stelle meiner Familie danken, die mir während meines gesamten Studiums Geborgenheit und seelische Unterstützung geboten hat. Ich bedanke mich für ihre Geduld sowie ihr Vertrauen in den von mir gewählten Weg.

Zu guter Letzt noch ein Danke an meine Studienkollegen und Freunde, ganz besonders an meine Freundin, ohne die meine Studienzeit um viele schöne Stunden ärmer gewesen wäre.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>4</b>
1.1 Problemstellung .....	5
1.1.1 Werkstoffe .....	5
1.1.2 Energie und Abfall .....	6
1.1.3 Leichtbauweise.....	6
1.2 Zielsetzung.....	7
<b>2 GRUNDLAGEN.....</b>	<b>9</b>
2.1 Begriffsbestimmungen.....	9
2.2 EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge .....	12
2.2.1 Historie .....	12
2.2.2 Inhalt .....	13
2.2.3 Umsetzungszeitpunkte der EU-Richtlinien über Altfahrzeuge .....	17
2.2.4 Interpretation der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge .....	17
2.3 Österreichische Implementierung der EU-Richtlinie Altfahrzeuge.....	18
2.3.1 Freiwillige Vereinbarung in Österreich .....	19
2.3.2 Altfahrzeugeverordnung in Österreich .....	20
2.3.2.1 Gesetzliche Verankerung in Österreich.....	20
2.3.2.2 Inhalt.....	21
2.3.2.3 Interpretation der Altfahrzeugeverordnung.....	25
2.3.2.4 Auswirkungen auf Magna Steyr Fahrzeugtechnik .....	26
2.3.3 Gegenüberstellung .....	27
2.4 Normen .....	28
<b>3 RECYCLINGKONZEPTE UND ALTFahrzeugeGEVERWERTUNG .....</b>	<b>29</b>
3.1 Derzeitiger Stand in der Altfahrzeugeverwertung.....	29
3.1.1 Shredderanlage.....	31
3.1.1.1 Eisenschrott.....	32
3.1.1.2 Aluminiumschrott .....	33
3.1.1.3 Shredderleichtfraktion (SLF) .....	34

3.1.2	Kunststoffaltteile .....	36
3.1.3	Aktuelle Verwertungsquoten in Österreich .....	38
3.2	Altfahrzeuge-Recycling .....	38
3.3	Demontage.....	39
3.3.1	Demontagekonzept.....	40
3.3.2	Wirtschaftlichkeit.....	42
<b>4</b>	<b>RECYCLINGGERECHTE PRODUKTENTWICKLUNG .....</b>	<b>43</b>
4.1	Produktentwicklungsprozess .....	43
4.2	Maßnahmen zur recyclingoptimierten Konstruktion .....	44
4.2.1	Recycling-Kriterien.....	45
4.2.1.1	Umfeld .....	45
4.2.1.2	Technologie .....	45
4.2.1.3	Ökologie .....	45
4.2.1.4	Ökonomie .....	46
4.2.2	Recyclingquoten .....	46
4.2.3	Produktgestaltung.....	47
4.3	Vergleich der derzeitigen Herstellerstandards.....	51
4.3.1	Gestaltungshinweise.....	53
4.3.2	Bewertung .....	53
4.3.2.1	Recyclingklassen .....	53
4.3.2.2	Checklisten .....	54
4.3.3	Berechnung der Recyclingquoten.....	54
<b>5</b>	<b>DEMONTAGE VON TÜRMODULEN .....</b>	<b>56</b>
5.1	Demontagenvorbereitung.....	57
5.1.1	Demontageumfeld .....	58
5.1.1.1	Arbeitsplatz.....	58
5.1.1.2	Werkzeug .....	58
5.1.2	Stückliste .....	60
5.1.3	Explosionszeichnung .....	60
5.1.4	Produktstruktur und Hierarchie-Ebenen.....	60
5.1.5	Verbindungsgraphen .....	62
5.1.6	Dokumentation .....	62
5.2	Durchführung der Türmodul-Demontage.....	63

5.2.1	Demontagerichtung .....	63
5.2.2	Demontagezeit .....	63
5.2.3	Demontagvorrichtung .....	63
5.3	Auswertung der Versuchsergebnisse.....	71
5.3.1	Produktstruktur .....	71
5.3.2	Recyclinggerechte Produktgestaltung.....	75
5.3.3	Materialanteile und Fraktionen im Vergleich .....	76
5.3.4	Materialverbot und deklarationspflichtige Stoffe.....	78
5.3.5	Berechnung der Recyclingquoten.....	79
5.3.5.1	Recyclingquoten des BMW-E30-Türmoduls.....	80
5.3.5.2	Recyclingquoten des BMW-E46-Türmoduls.....	82
5.3.6	Kostenabschätzung und Kreislaufeignung.....	85
5.3.6.1	Kostensituation für das Recycling des E30-Türmoduls .....	85
5.3.6.2	Kostensituation für das Recycling des E46-Türmoduls .....	86
5.3.7	Verbesserungspotenziale .....	87
5.3.7.1	Demontagesoftware.....	87
5.3.7.2	Optimierung der recyclinggerechten Produktgestaltung.....	87
5.3.7.3	IDIS .....	90
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>91</b>
	<b>LITERATUR.....</b>	<b>93</b>
	<b>VERWENDETE ABKÜRZUNGEN/BEGRIFFE.....</b>	<b>99</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>102</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>104</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>106</b>

# 1 Einleitung

Aufgrund verschärfter gesetzlicher Vorgaben und eines zunehmenden Umweltbewusstseins in der Bevölkerung ist in den letzten Jahren das Produkt Automobil mit seinen Auswirkungen auf die Umwelt stärker ins öffentliche Interesse geraten [1, S. III].

Weltweit werden jährlich 18 bis 20 Millionen Fahrzeuge zu Altfahrzeugen deklariert. Diese Altfahrzeuge sind in der Regel zwischen 10 und 14 Jahre alt, wenn sie ihr Produktlebensende erreicht haben [2, S. 1]. In der Europäischen Gemeinschaft fallen jährlich zwischen 6,5 und 12 Millionen Altfahrzeuge an [2, S. 1], das sind jährlich zwischen 8 und 9 Millionen Tonnen Abfälle aus Altfahrzeugen, die ordnungsgemäß entsorgt werden müssen [3, Vorwort]. Rund vier Millionen Personenkraftwagen (PKW) mit über 400 Zulassungsmodellen bestimmen die Ausgangssituation zum Thema Altfahrzeugverwertung in Österreich [4, S. 46]. Allein in diesem relativ kleinen Land beläuft sich die Zahl der zu entsorgenden Altfahrzeuge auf ca. 120.000 Stück jährlich [5, S. 4].

Das „Altauto“ ist für die Automobilhersteller, Industrie und Wirtschaft schon lange ein Thema; in das Auto fließen mit hohem Aufwand Werkstoffe und Energie hinein. Emissionen und Abfälle entstehen durch die Nutzung und bei der Entsorgung der Fahrzeuge. Viele Werkstoffe können wieder aus dem „Schrottauto“ gewonnen und in den Wertstoffkreislauf rückgeführt werden. Dennoch ist das zur Zeit praktizierte Altautorecycling insbesondere aufgrund der neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen einer kritischen Betrachtung zu unterziehen, um ein ökologisch/ökonomisch optimiertes Wiederverwenden, Verwerten und Entsorgen realisieren zu können [1]. Aus der Abbildung 1.1 ist ersichtlich, dass der Informationsfluss, als wesentlicher Bestandteil in der Optimierung von Fahrzeugen, nicht mehr nur zwischen Produktion und Entwicklung erfolgt, sondern umfassend auf alle Lebenszyklusbereiche (Zulieferer, Konsumenten und Entsorger) ausgedehnt ist.

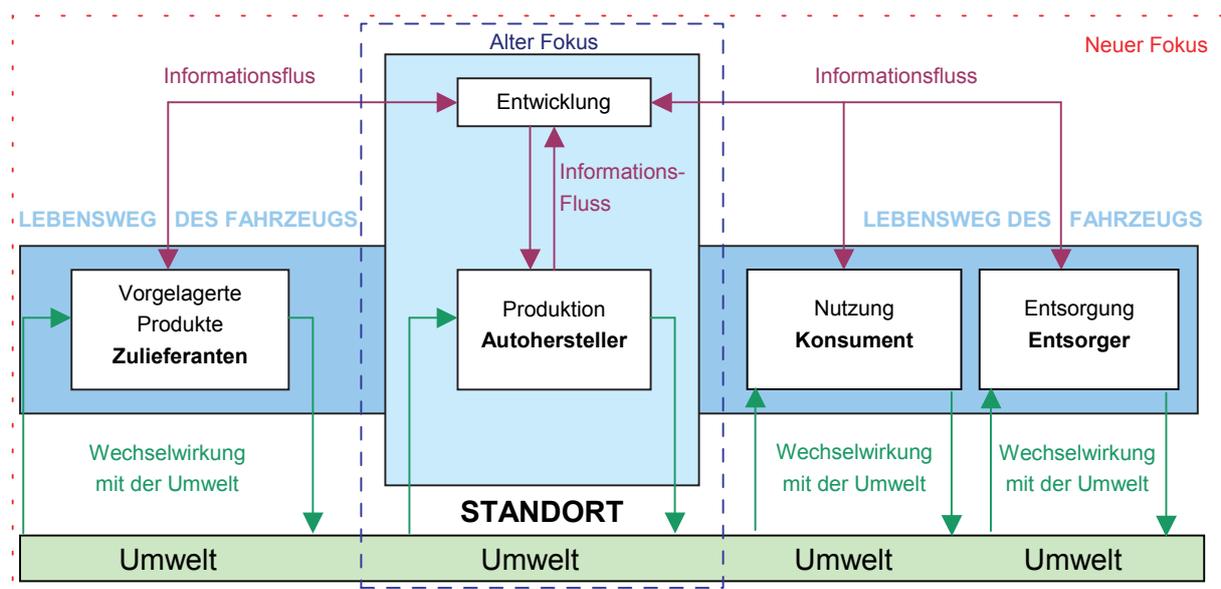


Abbildung 1.1: Fahrzeuglebenszyklus [6, S. 3]

## 1.1 Problemstellung

### 1.1.1 Werkstoffe

Ein Auto besteht aus ca. 10.000 Teilen [2, S. 1]. Allein in einem VW Golf finden sich über 150 verschiedene Sorten Kunststoffe und über 250 verschiedene Sorten an Stählen und Eisenlegierungen [4, S. 46]. Das Auto ist also ein sehr komplexes Erzeugnis, welches nur mit wenigen anderen Produkten in seiner großen Materialvielfalt vergleichbar ist.

Wieviel an Werkstoffen in welchen Mengenanteilen in einem Kraftfahrzeug (Kfz) vertreten sind, ist in der Tabelle 1.1 (Großserien-Pkw verschiedener Hersteller im Zeitraum 1950-1996) ersichtlich. Die Angabe von Spannweiten in der Materialzusammensetzung ist aussagekräftiger, als die Angabe von Mittelwerten, da verschiedene Kfz eine oft deutlich andere Materialzusammensetzung haben [7, S.95].

Tabelle 1.1: Spannweite der Materialzusammensetzung von Pkw [7, S.95]

Material	Anteil (in Gew%)	Material	Anteil (in Gew%)
Eisenwerkstoffe	55,0 ... 85,0%	Platinmetalle	0,00001...0,00002%
NE-Metalle (gesamt)	3,0 ... 16,0%	Kunststoffe	2,0 ... 16,0%
Aluminiumlegierungen	1,5 ... 14,0%	Reifen/Elastomere	2,0 ... 8,5%
Kupferlegierungen	0,6 ... 2,8%	Glas/Inertmaterialien	2,0 ... 4,5%
Blei	0,5 ... 1,4%	Betriebsstoffe \Kraftstoffe	2,5 ... 5,0%
Zink	0,3 ... 1,5%	Lacke, Textilien, Holzfasern etc.	3,0 ... 15,0%

Um die, in der EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge geforderten Quoten [3, Artikel 7], einhalten zu können, müssen Bemühungen angestellt werden, um den Materialeinsatz stärker zu vereinheitlichen und die Vielfalt und Komplexität in der Werkstoffwahl zu reduzieren. Je geringer die Anzahl an verschiedenen Werkstoffen und je besser eine recyclinggerechte Konstruktion erfolgt ist, desto einfacher wird die Trennung in einzelne Fraktionen abzuhandeln sein, und umso eher wird man ein sinnvolles stoffliches Recycling durchführen können.

Da jedoch auch für die derzeit am Markt befindlichen Fahrzeuge eine Recyclingquote vorgeschrieben ist, müssen diese noch nicht recyclinggerecht konstruierten Fahrzeuge mit geeigneten Verwertungsmaßnahmen behandelt und demontiert werden.

## 1.1.2 Energie und Abfall

Die Bilanz bezüglich Abfall und Energie eines Kfz über sein gesamtes Leben stellt Tabelle 1.2 dar. Diese Tabelle macht deutlich, dass die meiste Energie für den Betrieb eines Kfz umgesetzt wird. Daher ist auf Gewichtsreduzierung und Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs besonderes Augenmerk zu legen.

Tabelle 1.2: Energie und Abfallbilanz eines Automobils [1, S.26]

Phase	Energie		Abfall
Rohstoffgewinnung	105,5 GJ	Energie für Abbauaggregate (Bagger, ...), Schmelzöfen, Hochofen etc.	1.600 kg Schlacke 23.400 kg Abraum
Rohstofftransport	23,4 GJ	Kraftstoff für Transportmittel und -fahrzeuge	13 kg Rohöl
Automobilproduktion	61,5 GJ	Energiebedarf bei Fertigung, Rohbau, Montage etc.	1.500 kg Abfälle
Betrieb	477,7 GJ	Kraftstoff der Verbrennungskraftmaschine, Energieaufwand bei Wartung etc.	100 kg aus Wartung, Reparatur 110 kg Reifen
Verwertung/ Entsorgung	4,1 GJ	Energieaufwand für Demontage, Shredder, Aufbereitung, Transport etc.	200 kg Shredderabfall 25 kg Betriebsflüssigkeiten
<b>Summe</b>	<b>672,2 GJ</b>		<b>26.984 kg</b>

Eine Gewichtsreduzierung des Autos kann nur erreicht werden, wenn man leichtere Werkstoffe einsetzt, wobei sich hier vor allem sogenannte Verbundmaterialien anbieten. Hieraus entsteht jedoch das Problem, dass die Verwertbarkeit der Fahrzeuge an ihrem Produktlebensende darunter leidet.

Abfallseitig zeigt sich, dass die Rohstoffgewinnung den größten Anteil verursacht, jedoch fallen über den gesamten Lebensweg Problemstoffe an. Die Altfahrzeugverwertung am Ende des Lebensweges. Ist eine Maßnahme zur Verminderung des Gefahrenpotenzials der Problemstoffe zu finden. Dabei sind vor allem vor dem Shredderprozess Maßnahmen zu setzen, um den kritischen Shredderabfall zu reduzieren.

## 1.1.3 Leichtbauweise

Im Zuge der Leichtbauweise ergibt sich der Konflikt, dass vermehrt Polymerwerkstoffe eingesetzt werden (siehe Abbildung 1.2). Die metallischen Werkstoffe werden daher verdrängt. Gerade diese sind jedoch technisch und wirtschaftlich am besten für stoffliches Recycling geeignet [1, S. 26f].

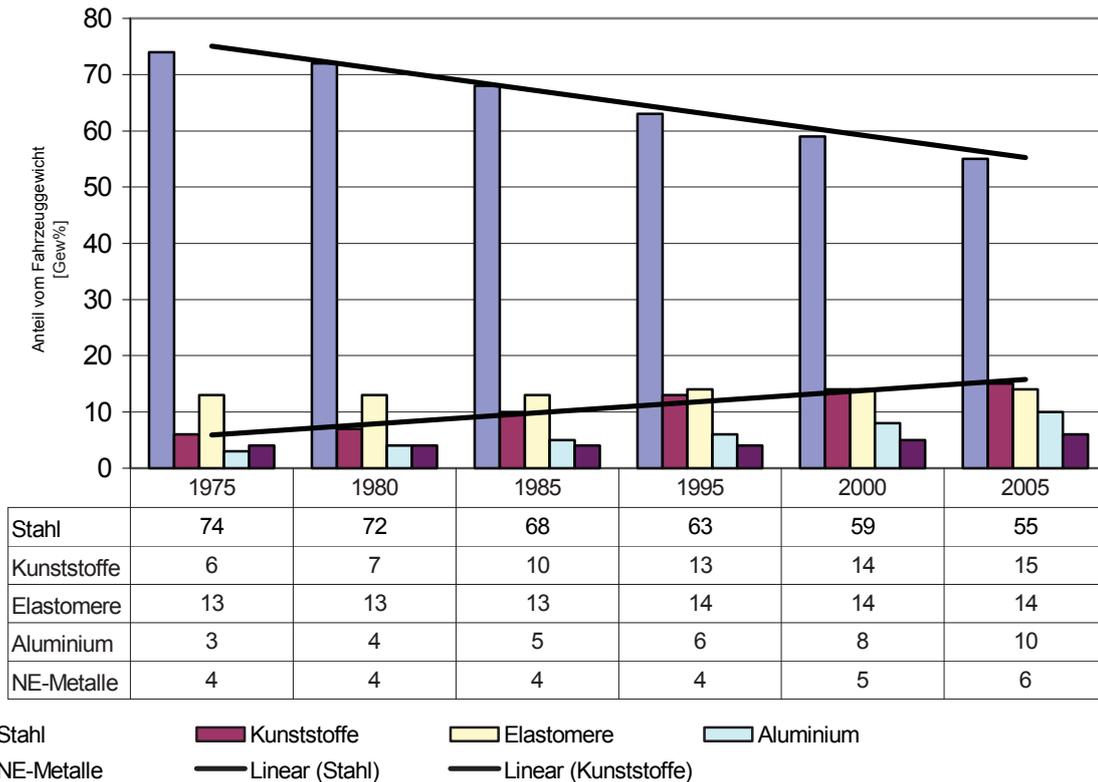


Abbildung 1.2: Trend des Kunststoffeinsatzes im Vergleich zu Stahl [8, S. 91]

Aus den Trendkurven ist das Problem „Stahl versus Kunststoff“ erkennbar. Neue Werkstoffverbunde fordern neue Verfahren in der Aufbereitung und in der Vorbehandlung der Altfahrzeuge. Für die Auftrennung solcher Verbunde müssen neue Möglichkeiten des Trennens und Lösens, sowie für eine eventuelle Demontage entwickelt werden. Die Entwicklung solcher Möglichkeiten kann durch Recycling- und Demontageuntersuchungen an bereits bestehenden Verbundbauteilen realisiert werden.

## 1.2 Zielsetzung

Einerseits besteht das Problem, dass neue Werkstoffe im Automobil eingesetzt werden, die mit heutigen Verfahren aus technischer und ökonomischer Sicht kaum verwertet werden können. Diese Werkstoffe sind jedoch nötig, um leichtere und damit sparsamere Fahrzeuge zu konstruieren. Daneben steht das Problem, dass jedes Fahrzeug am Ende als Altfahrzeug zu Abfall wird. Daher wurde die EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge erarbeitet.

Aufgrund dieser EU-Richtlinie über Altfahrzeuge muß es verstärkte Bemühungen der Automobilindustrie geben, um die Recyclingfähigkeit von deren Produkt „Auto“ zu erhöhen. Ein, unter vielen anderen Gesichtspunkten, notwendig zu betrachtender Pfad des Recyclings ist der Demontagepfad.

Eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Automobilherstellern, Zulieferern und Verwertern ist gefordert, Demontagehandbücher sind zu erstellen und Stoffkreisläufe zu schließen.

Besonders wichtig ist, schon im Produktentstehungsprozess auf die künftige Recycling- und Demontagefähigkeit Bedacht zu nehmen.

Aus den genannten Gründen wurden für die vorliegende Diplomarbeit folgende Ziele abgeleitet:

- Prüfung und Ausarbeitung der gültigen gesetzlichen Rahmenbedingungen und technischen Normenwerke bereits im Vorfeld
- Demontage von Türmodulen verschiedenen Alters
- Charakterisierung und Klassifizierung der demontierten Bauteile (bei strukturierter Dokumentation Zerlegung der Türmodule vom Ganzen in Fraktionen bis auf Werkstoffebene)
- Ableitung von Erkenntnissen im Hinblick auf recyclinggerechte Konstruktion und Demontagefähigkeit
- Untersuchung auf Unterschiede im Werkstoffeinsatz
- Berechnung von Recyclingquoten und Wiederverwertbarkeitsquoten
- Quantitative, d.h. monetäre Bewertung der Demontage und Ermittlung der Recyclingkosten und Erlöse

## 2 Grundlagen

### 2.1 Begriffsbestimmungen

Die folgenden Begriffe werden häufig in der vorliegenden Arbeit verwendet und stellen grundsätzliche Begriffe im Bezug auf das Altfahrzeug-Recycling dar. Sie wurden der EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge [3, Artikel 2], der EU-Richtlinie 75/442/EWG über Abfälle, der Verordnung des BMLFUW über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugeverordnung) [9, § 2], der ISO 22628 – Road vehicles - Recyclability and Recoverability – Calculation method [10, S.1f] und der VDI 2243 – Recyclingoptimierte Produktentwicklung [11, S.19] entnommen. Begriffe, die nicht einem dieser Regelwerke entnommen worden sind, werden gesondert zitiert.

- Fahrzeug: Fahrzeuge der Klassen M1 und N1 sowie dreirädrige Kraftfahrzeuge (KFZ), ausschließlich von dreirädrigen Krafträdern.
- Altfahrzeug: Als Abfall geltende Fahrzeuge, Oldtimer sind keine Altfahrzeuge.
- Hersteller: Fahrzeughersteller oder der gewerbliche Importeur eines Fahrzeugs (lt. EU) ist jeder, der als Fahrzeughersteller auftritt, indem er seinen Namen, Marke oder ein anderes Erkennungszeichen am Fahrzeug anbringt (lt. BMLFUW).
- Importeur: Jeder, der gewerblich (mehr als fünf Fahrzeuge pro Kalenderjahr) Fahrzeuge nach Österreich einführt.
- Wirtschaftsbeteiligte: Hersteller, Vertreiber, Rücknahmestellen, Kfz-Versicherungsgesellschaften, Demontagebetriebe, Shredderanlagenbetreiber, Verwertungsbetriebe, Recyclingbetriebe, sonst. Behandlungsbetriebe für Altfahrzeuge, ihre Bauteile und Werkstoffe.
- Erstübernehmer: Jeder Fahrzeughändler, jede Reparaturwerkstätte, jeder Betrieb des Sekundärrohstoffhandels und jede sonstige Person, die Altfahrzeuge zur Entnahme oder Wiederverwendung von Bauteilen von einem Halter/Eigentümer übernimmt (z.B. Verwerter, Fahrzeughändler).
- Behandlung von Altfahrzeugen: Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verwertung und/oder Beseitigung nach Übergabe an eine diesbezügliche Anlage.
- Vermeidung: Maßnahmen zur Reduzierung der Mengen und Umweltschädlichkeit von Altfahrzeugen, ihren Werkstoffen und Substanzen.
- Wiederverwendung: Erneute Nutzung von bereits gebrauchten Teilen aus Altfahrzeugen im ursprünglichen Verwendungszweck.

- Wiederverwertung: Erneutes Nutzen von Werkstoffen unter Auflösen der ursprünglichen Bauteilgeometrie [12, S. 2f].
- Verwertung: jedes der anwendbaren im Anhang II B genannte Verfahren R1 bis R13 der EU-Richtlinie über Abfälle (siehe Anhang E).
- thermische Verwertung: Verbrennung in einer Mitverbrennungsanlage, lt. Abfallverbrennungsverordnung (Österreich) bzw. Energienutzung aus den Werkstoffen mittels thermischer Behandlungsverfahren [12, S. 2f].
- Werk/stoffliche Verwertung: Werkstoffrückführung in neue Produkte auf physikalischem Wege [12, S. 2f].
- Chemische/Rohstoffliche Verwertung: Werkstoffrückführung in neue Produkte auf chemischem Wege [12, S. 2f].
- Recycling: Rückführen von Altmaterialien oder -teilen in neue Produkte, exklusive der thermischen/ energetischen Verwertung (Müll- und Mitverbrennung).
- Beseitigung: jedes der anwendbaren im Anhang II A genannte Verfahren D1 bis D15 der EU-Richtlinie über Abfälle (allgemein: Ablagern und Verbrennen ohne Energiegewinnung).
- Shredderanlage: Anlage zur Zertrümmerung und Zerkleinerung sowie zur Gewinnung unmittelbar wiederverwendbaren Metallschrottes (ausgenommen Schrottscheren [5, S. 10]).
- Demontage: Gesamtheit aller Vorgänge, die der Vereinzelung von Mehrkörpersystemen zu Baugruppen, Bauteilen und/oder formlosen Stoff durch Trennen dienen.
- Demontageinformation: Alle zur sach- und umweltgerechten Altfahrzeugbehandlung notwendigen Informationen – von Fahrzeugherstellern und Zulieferern den Verwertungsanlagen zur Verfügung zu stellen.
- IDIS: International Dismantling Information System; von Herstellern veröffentlichte und kontinuierlich aktualisierte Information zur Demontage [13].
- Demontagefähigkeit, -eignung: Möglichkeit, Bauteilgruppen und Bauteile vom Fahrzeug zu entfernen.
- Recyclingfähigkeit, -eignung: Möglichkeit, Bauteilgruppen und Bauteile vom Fahrzeug zu rezyklieren.

- Wiederverwendbarkeit, -eignung: Möglichkeit, Bauteilgruppen und Bauteile vom Fahrzeug wiederzuverwenden.
- Wiederverwertbarkeit: Möglichkeit, Bauteilgruppen und Bauteile vom Fahrzeug wiederzuverwerten.
- Recyclingrate, -quote: Anteil (ersichtlich aus Tabelle 2.1) vom neuen Fahrzeug, der potentiell rezykliert und/oder wiederverwendet werden kann (ohne thermische Verwertung) in Massenprozent.
- Wiederverwertbarkeitsrate, -quote: Anteil (ersichtlich aus Tabelle 2.1) vom neuen Fahrzeug, der potenziell wiederverwertet und/oder wiederverwendet werden kann (inklusive thermischer Verwertung) in Massenprozent.

Tabelle 2.1: Überblick zur Quotendefinition [10, S. 2]

<b>Wieder- verwendung</b>	<b>Wiederverwertung</b>		<b>Deponie</b>
	<b>Recycling (stoffliche Verwertung)</b>	<b>Thermische Verwertung</b>	
<i>„Recyclingrate, -quote“</i>			
<i>„Wiederverwertbarkeitsrate, -quote“</i>			

- Gesamtfahrzeuggewicht, durchschnittliches Fahrzeuggewicht: Gesamte Fahrzeugmasse, inklusive Schmiermittel, Kühl- und Waschflüssigkeiten, Treibstoff (mind. 90% Füllung), Reserverad, Feuerlöscher, Standard Reserveteile, Bremsklötze und Standard Werkzeugkasten, nach ISO 1176 [14, S. 4].
- Aufarbeitung: Behandlung zur Verwendung, fertigungstechnisch (in der Regel).
- Aufbereitung: Behandlung zur Verwertung, (in der Regel) verfahrenstechnisch, wie in der Abbildung 2.1 ersichtlich.

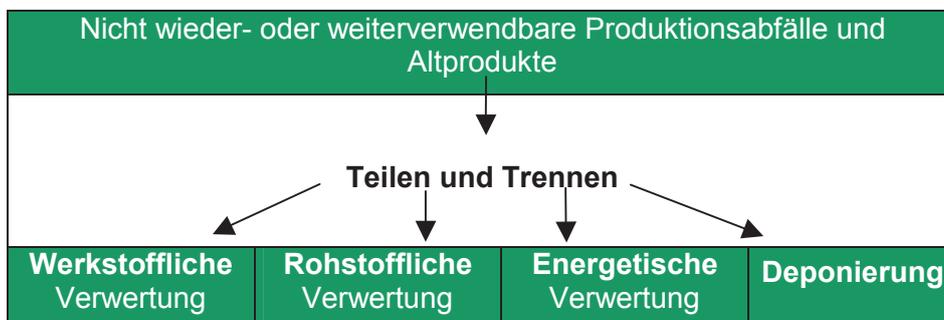


Abbildung 2.1: Aufbereitungstechnik Recyclingprozess [12, S. 1]

- Kreislaufeignung: (= KE) Verhältnis der Summe Kosten Neuware, bzw. -teile und Beseitigungskosten zu der Summe Recycling-Kosten Sekundärmaterial bzw. Altteil. Die Recyclingkosten inkludieren Demontage-, Aufarbeitungs- und Logistikaufwendungen [11, S. 8].
- OEM: Original Equipment Manufacturer (Bezeichnung für Hersteller von Originalteilen).
- Demontage-Ebene (DE): Vom Äußeren ins Innere des Produktes herrscht Aufbau in Schichten, jede Schicht ist eine Demontageebene.
- Hierarchie-Ebene (HE): Streng hierarchischer Produktaufbau, d.h. Baugruppen, Unterbaugruppen und Bauteile, ein Einzelteil ist das kleinste Element in dieser Struktur (letzte HE), Baugruppen sind in weitere Unterbaugruppen (nächste HE) einteilbar und weiterzerlegbar.
- Sekundärwerkstoffe, -materialien: Rückgewinnung von Abfällen in den Stoffkreislauf oder Materialien, die nach Verarbeitung wieder als Rohstoff in den Produktionsprozess zur Herstellung neuer Gebrauchsgegenstände eingeführt werden (Metallschrott, Altglas, Kunststoffe, Altpapier etc.).
- gefährliche Stoffe: lt. EU-Richtlinie 67/548/EWG über Chemikalien bzw. lt. Österreichischem Chemikaliengesetz als gefährlich eingestufte Stoffe.
- recyclingkritische Stoffe: Inhaltsstoffe in Materialien, die im Recyclingprozess (in verfahrenstechnischen Anlagen und Apparaturen) zu Problemen führen (z. B. toxische Stoffe werden bei der Stoffaufbereitung oder beim Einschmelzen frei, korrosive Substanzen schädigen Rohrleitungen und Apparate oder die Qualität des Rezyklats leidet unter Anwesenheit dieser Stoffe).

## 2.2 EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge

### 2.2.1 Historie

Im Jahr 1991 wurde von der Europäischen Kommission eine Arbeitsgruppe „end of life vehicles“ eingerichtet, die zum Ziel hatte, eine europäeinheitliche Rechtsgrundlage für das Fahrzeugrecycling zu schaffen [15, S. 17]. Nach mehreren vorgelegten Entwürfen über eine europäische Richtlinie über Altfahrzeuge und aufgrund des vom Vermittlungsausschusses im Mai 2000 gebilligten gemeinsamen Entwurfes trat die „Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge“ am 21. Oktober 2000 mit Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften in Kraft. Die Umsetzung dieser Richtlinie in nationales Recht muss bis spätestens 21. April 2002 erfolgt sein [3, Artikel 10 (1)].

## 2.2.2 Inhalt

Die Richtlinie ist in 13 Artikel gegliedert und umfasst des weiteren zwei Anhänge. Die wichtigsten Inhalte der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge sind in der folgenden Aufstellung zusammengefasst:

### 1) Ziele [3, Artikel 1]

- Vorrangig Vermeidung von Fahrzeugabfällen
- Wiederverwendung, Recycling und andere Formen der Verwertung von Altfahrzeugen und ihren Bauteilen
- Verringerung der Abfallbeseitigung
- Verbesserung der Umweltschutzleistungen aller Wirtschaftsbeteiligten

### 2) Begriffsbestimmungen [3, Artikel 2]

(vgl. Kapitel 2.1)

### 3) Geltungsbereich [3, Artikel 3]

- Fahrzeuge der Klassen M1 oder N1<sup>1)</sup> sowie dreirädrige Kraftfahrzeuge<sup>2)</sup> (ausgenommen dreirädrige Krafträder)
- Die Fahrzeugklasse M1 betrifft Fahrzeuge zur Personenbeförderung, mit mindestens vier Rädern und höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz.
- Die Fahrzeugklasse N1 betrifft Kraftfahrzeuge für Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 t [16, S. 65]. Des weiteren gilt die Richtlinie für die Bauteile und Werkstoffe der Altfahrzeuge und unabhängig von der Wartung und anderwärtigen Bestückung während deren Nutzung.
- Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung<sup>3)</sup> müssen die Recyclingquoten (lt. Artikel 7) nicht einhalten: das sind Wohnmobile (M1), beschussgeschützte Kraftfahrzeuge (M1, N1), Krankenwagen (M1), Leichenwagen (M1) und sonstige (lt. Anhang XI, 70/156/EWG)

### 4) Abfallvermeidung [3, Artikel 4]

- Vermeidung und Reduzierung gefährlicher Stoffe bereits in der Fahrzeugentwicklungsphase
- Bereits in der Konstruktion die Demontagefähigkeit, Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit von Bauteilen miteinbeziehen

---

<sup>1)</sup> EU-RL 70/156/EWG, Anhang II, Abschnitt A, [17]

<sup>2)</sup> EU-RL 92/61/EWG über die Betriebserlaubnis für zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge

<sup>3)</sup> EU-RL 70/156/EWG, Artikel 4, Absatz 1, Buchstabe a)

- Durch die Fahrzeughersteller und Werkstoff- und Zulieferindustrie ist verstärkt Recyclingmaterial einzusetzen, um die Märkte für Recyclingmaterial auszubauen
- Sicherstellung, dass kein Einsatz (ab 1. Juli 2003) von Blei, Quecksilber, Cadmium und sechswertigem Chrom erfolgt (Ausnahmen sind in aufgeschlüsselt)

Tabelle 2.2: Von § 4 ausgenommene Werkstoffe und Bauteile [18, Anhang II]

Werkstoffe und Bauteile	Anwendungsbereich und Befristung der Ausnahme	Zu kennzeichnen (§ 4 Abs. 3)
<b>Blei als Bestandteil einer Legierung</b>		
1. Stahl für Bearbeitungszwecke und feuerverzinkter Stahl mit einem Bleianteil von bis zu 0,35 Gewichtsprozent		
2.		
a) Aluminium für Bearbeitungszwecke mit einem Bleianteil von bis zu 2 Gewichtsprozent	1. Juli 2005	
b) Aluminium für Bearbeitungszwecke mit einem Bleianteil von 1 Gewichtsprozent	1. Juli 2008	
3. Kupferlegierung mit einem Bleianteil von bis zu 4 Gewichtsprozent		
4. Blei-/Bronze-Lagerschalen und -Buchsen		
<b>Blei und Bleiverbindungen in Bauteilen</b>		
5. Batterien		X
6. Schwingungsdämpfer		X
7. Auswuchtgewichte	Vor dem 1. Juli 2003 typgenehmigte Fahrzeuge und Auswuchtgewichte, die zur Wartung dieser Fahrzeuge bestimmt sind: 1. Juli 2005	X
8. Vulkanisierungsmittel und Stabilisatoren für Elastomere in Anwendungen der Flüssigkeitshandhabung und der Kraftübertragung	1. Juli 2005	
9. Stabilisator in Schutzanstrichen	1. Juli 2005	
10. Kohlebürsten für Elektromotoren	Vor dem 1. Juli 2003 typgenehmigte Fahrzeuge und Kohlebürsten für Elektromotoren, die zur Wartung dieser Fahrzeuge bestimmt sind: 1. Jänner 2005	
11. Lötmittel in elektronischen Leiterplatten und sonstigen elektrischen Anwendungen		X
12. Kupfer in Bremsbelägen mit einem Bleianteil von mehr als 0,5 Gewichtsprozent	Vor dem 1. Juli 2003 typgenehmigte Fahrzeuge und Wartung dieser Fahrzeuge: 1. Juli 2004	X
13. Ventilsitze	Motortypen, die vor dem 1. Juli 2003 entwickelt wurden: 1. Juli 2006	

Werkstoffe und Bauteile	Anwendungsbereich und Befristung der Ausnahme	Zu kennzeichnen (§ 4 Abs. 3)
14. Elektrische Bauteile, die Blei gebunden in einer Glas- oder Keramik-Matrix enthalten, ausgenommen Glas in Glühlampen und die Glasur von Zündkerzen		X (für andere als piezoelektrische Bauteile in Motoren)
15. Glas in Glühlampen und Glasur von Zündkerzen	1. Jänner 2005	
16. Pyrotechnische Auslösegeräte	1. Juli 2007	
<b>Sechswertiges Chrom</b>		
17. Korrosionsschutzschichten	1. Juli 2007	
18. Absorptionskühlschränke in Wohnmobilen		X
<b>Quecksilber</b>		
19. Entladungslampen und Instrumententafelanzeigen		X
<b>Cadmium</b>		
20. Dickschichtpasten	1. Juli 2006	
21. Batterien für Elektrofahrzeuge	31. Dezember 2005; nach dem 31. Dezember 2005 dürfen Nickel-Cadmium(NiCd)-Batterien nur noch als Ersatzteile für Fahrzeuge in Verkehr gebracht werden, die vor diesem Datum auf den Markt gekommen sind.	X

### 5) Rücknahme [3, Artikel 5]

- Aufbau von Rücknahmesystemen und Bereitstellung der nötigen Infrastruktur für die Fahrzeugrückgabe durch die Wirtschaftsbeteiligten
- Zugelassene Verwerter müssen dem Letzthalter einen Verwertungsnachweis ausstellen
- Ordnungsgemäße Rückgabe des Altfahrzeuges ist für den Letzthalter kostenlos, Hersteller müssen die gesamten Kosten bzw. den wesentlichen Teil der Kosten tragen – ab 1. Juli 2002 für alle Altfahrzeuge mit Erstzulassung ab 1. Juli 2002; ab 1. Jänner 2007 für alle Altfahrzeuge

### 6) Behandlung [3, Artikel 6]

- Behandlungsanlagen müssen genehmigt sein (und sollen über ein zertifiziertes Umweltmanagementsystem (UMS) verfügen)
- Gefährliche Werkstoffe und Bauteile sind vor dem nachfolgenden Shredder-Prozess vom Altfahrzeug zu entfernen (Schadstoffentfrachtung)
- Die Zerlegung und Lagerung von Bauteilen hat so zu erfolgen, dass Bauteile wiederverwendbar und wiederverwertbar sind

- Verbesserung des Recyclings durch Entfernung von Katalysatoren, Cu-, Al-, Mg-hältigen Metallbauteilen, Reifen, großen Kunststoffbauteilen (Stoßfänger, Armaturenbrett, Flüssigkeitsbehälter) und Glas

### 7) Wiederverwendung und Verwertung [3, Artikel 7]

- Wiederverwendung von wiederverwendbaren Bauteilen
- Vorzugsweise stoffliches Verwerten, d.h. Recycling nicht wiederverwendbarer Teile
- Angaben über Recyclingfähigkeit (Nachweis Recyclingquoten) für bereits nach der EU-RL 70/156/EWG typgenehmigte Fahrzeuge ab 2005
- Einhaltung der Zielvorgaben laut Tabelle 2.3

Tabelle 2.3: Zielvorgaben bei der Altfahrzeugbehandlung

Zielvorgaben		mit 01.01.2006	mit 01.01.2015
Recyclingquoten in Massenprozent (%) des durchschnittlichen Fahrzeuggewichtes	Wiederverwendung und roh/-stoffliche Verwertung	> 80%	> 85%
	Wiederverwendung und Verwertung (inklusive thermischer)	> 85%	> 95%
	Deponie	< 15%	< 5%

### 8) Kennzeichnungsnormen/Demontageinformation [3, Artikel 8]

- Kennzeichnungsnormen, um die Identifizierung von wiederverwendbaren und wiederverwertbaren Bauteilen zu erleichtern
- Es sind Demontageinformationen vom Hersteller binnen sechs Monaten nach Inverkehrbringen eines neuen Fahrzeugtyps bereitzustellen

### 9) Berichterstattung und Information [3, Artikel 9]

- Über die Rücknahme-, Demontage-, Shredder-, Verwertungs- und Recyclingwirtschaft ist vom Mitgliedsstaat ab 21. April 2002 alle drei Jahre an die Kommission ein Bericht zu übermitteln
- Wirtschaftsbeteiligte müssen Informationen über recyclinggerechte Konstruktion, umweltverträgliche Behandlung (Demontage, Flüssigkeitenentfernung) und Maßnahmen zur Verbesserung der Recyclingraten potenziellen (interessierten) Fahrzeugkäufern zugänglich zu machen

### 2.2.3 Umsetzungszeitpunkte der EU-Richtlinien über Altfahrzeuge

In der nachfolgenden Abbildung 2.2 ist zusammengefasst aufgeschlüsselt, zu welchen Stichdaten die wichtigsten Punkte der Richtlinie umzusetzen sind.

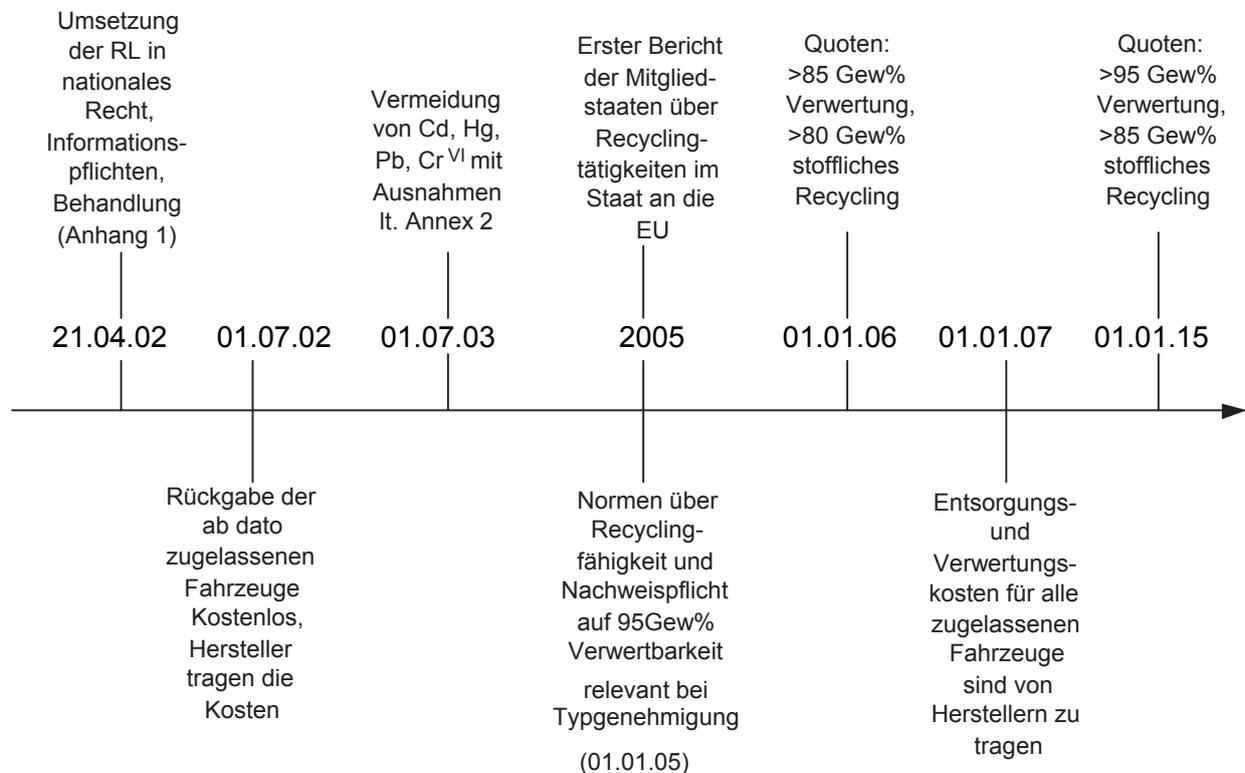


Abbildung 2.2: Meilensteine in der Umsetzung der EU-RL 2000/53/EG [8, S. 103], [19, S.5]

### 2.2.4 Interpretation der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge

Auf gefährliche Stoffe muss verzichtet werden; das ist zur Zeit jedoch technisch und wirtschaftlich nicht immer möglich. Beispiele dafür sind sechswertiges Chrom (Cr<sup>VI</sup>) als Korrosionsschutz oder Blei als Legierungsbestandteil. Daher ist am 29. Juni 2002 ein neuer Anhang 2 in das Amtsblatt der EG aufgenommen worden, der ab 1. Juli 2003 gültig ist [18, Artikel 3]. Unter anderem sieht der Annex 2 die Aufhebung der bisherigen Begrenzung von Cr<sup>VI</sup> auf 2 Gramm je Fahrzeug und ein völliges Verbot für den Einsatz dieses Stoffes ab 1.7.2007 vor. Das könnte ein Aufschieben der Problemlösung (nicht nur im Fall von Cr<sup>VI</sup>) zur Folge haben [20, S.5]. Ein weiteres Problem stellt die nicht durchführbare Überprüfbarkeit der geforderten Grenzwerte für Stoffe dar – die Grenze, ob Stoffe absichtlich oder unabsichtlich hinzugefügt worden sind, verläuft in nicht nachvollziehbaren Graubereichen.

Bereits in der Konstruktion ist auf die Recycling- und Demontagefähigkeit eines Fahrzeuges zu achten; dies stellt eine Grundvoraussetzung für das Recycling (vorzugsweise in Form

einer stofflichen Verwertung) auf hoher Stufe dar. Dieser Punkt ist in der EU-RL vorgeschrieben.

Derzeit müssen Recyclingquoten für die Typgenehmigung eines Fahrzeuges nicht nachgewiesen werden. In Artikel 7 fehlt eine Angabe darüber, wem Recyclingquoten nach einer Typgenehmigung nachzuweisen sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die EU-Richtlinie über Altfahrzeuge einseitig auf die Verwertbarkeit des Altfahrzeuges ausgerichtet ist. Dadurch entsteht der Konflikt, nicht mehr frei in der Materialwahl zu sein. Die Verwendung neuer und leichter Werkstoffe (Verbunde metallischer Werkstoffe und Kunststoffe) wird erschwert, was eine Einschränkung der Leichtbauweise zur Folge hat. Durch die Leichtbauweise erzielt man Energie- und daraus folgernd Ressourceneinsparungen während der Betriebsphase des Fahrzeuges; gerade in der Fahrzeugbetriebsphase liegt der größte Energiebedarf eines Fahrzeuges vor (vgl. Tabelle 1.2). Deshalb führt die Einhaltung der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge alleine nicht zum Resultat eines umweltfreundlicheren Fahrzeuges.

Man darf in diesem Zusammenhang nicht vergessen, dass die EU-RL 2000/53/EG über Altfahrzeuge aus Gründen der Abfallvermeidung erstellt worden ist und daher auch nur diesen Bereich abdeckt.

Für weitere umweltbezogene Maßnahmen im Automobilbau sind zahlreiche andere rechtliche Voraussetzungen einzuhalten, wie zum Beispiel:

- Richtlinie 70/220/EWG vom 20. März 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Abgase von Kraftfahrzeugmotoren mit Fremdzündung (zuletzt geändert durch 2001/100/EG)
- Richtlinie 80/1268/EWG des Rates vom 16. Dezember 1980 über die Kohlendioxidemissionen und den Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen (80/1268/EWG, geändert durch 89/491/EWG, 93/116/EWG mit Berichtigung vom 15.02.1994 und 1999/100/EWG)

## **2.3 Österreichische Implementierung der EU-Richtlinie Altfahrzeuge**

In Österreich werden 33 verschiedene Fahrzeug-Marken angeboten, die überwiegend von Generalimporteuren importiert werden. Daneben gibt es noch andere gewerbliche Importeure. Demnach ergibt sich eine Summe von ca. 50 primär Verpflichteten für die Altfahrzeugeverordnung in Österreich [5, S. 3].

Die Verwertung der Altfahrzeuge erfolgt in ca. 4500 Behandlungs- und Verwertungsunternehmen (Kfz-Betriebe, metallverarbeitende Betriebe und Shredder), die (zukünftig verstärkt) in Sammel- und Verwertungs-Systeme zusammengefügt sind [5, S. 4].

### 2.3.1 Freiwillige Vereinbarung in Österreich

Seit 1992 besteht in Österreich eine freiwillige Alt-PKW-Recycling-Vereinbarung zwischen dem Bundesminister für wirtschaftliche Angelegenheiten, dem Bundesminister für Umwelt und der Wirtschaftskammer Österreich. Als Ziel hat man sich gesetzt, die Altfahrzeuge zukunftsweisend zu verwerten, wobei hierin die Verwertungsgarantie der österreichischen Shredderbetriebe für alle in Österreich anfallenden Altfahrzeuge eine wesentliche Basis darstellt. Abbildung 2.3 zeigt das Netz an Übernahmestellen und Verwertungsbetrieben in Österreich, das insgesamt 6 Shredderbetriebe und rund 1400 Verwerter und Übernahmestellen umfasst [21, S. 4].

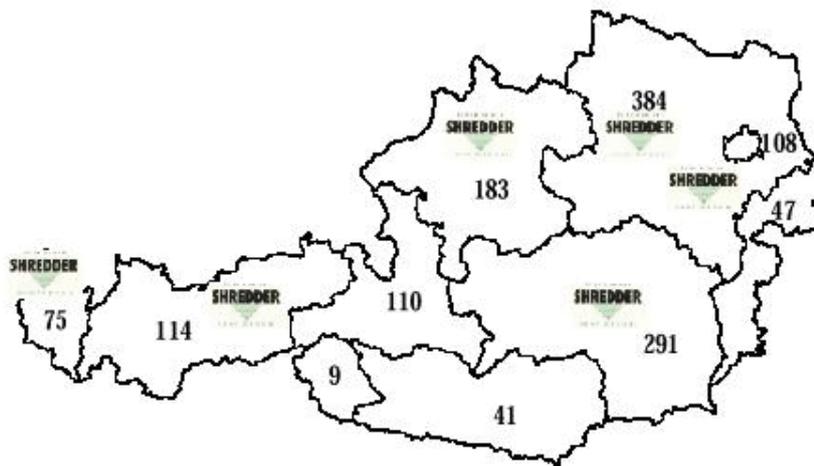


Abbildung 2.3: Flächendeckende Verteilung von Shredderanlagen und KFZ-Betrieben mit Beitrittserklärung zur freiwilligen Vereinbarung in Österreich

In dieser Vereinbarung verpflichtet sich die Wirtschaftskammer Österreich zur Darlegung eines jährlichen Berichtes über das Altfahrzeuge-Recycling. Die wesentlichen Inhalte aus dem aktuellen Bericht sind die statistische Erfassung und Dokumentation des Fahrzeugverbleibs in Österreich sowie die Evaluierung von Entwicklungen im Recycling.

Weitere Ziele der Vereinbarung sind, dass die Rückgabe von Altfahrzeugen bei Zug-um-Zug-Geschäften für den Letzthalter kostenlos und das öffentliche Netz für Rücknahme- und Verwertungsstellen auszubauen ist. Ein Verwertungsnachweis muss ausgestellt werden und dem Konsumenten müssen Informationen über Recyclingtätigkeiten gegeben werden [22].

Bei der Umsetzung der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge in nationales Recht hat die Wirtschaft folgende Forderungen gestellt [22]:

- Schlankes Verwaltungsmodell und marktwirtschaftliche Ausrichtung
- Erreichung eines hohen Umweltschutzniveaus
- Halterbeitrag, d.h. Verwertungskostenumlage auf den Fahrzeugneupreis, bei der Erstanmeldung
- Einbindung der Versicherungswirtschaft u.a. beim Abmeldungs-Monitoring
- Möglichkeit der Bildung von steuerlich anerkannten Rückstellungen durch Importeure entsprechend der Systemwahl
- Verwertungsnachweis als Dokumentation der endgültigen Verwertung (Shreddering), auch als Grundlage für die Kostenvergütung der Verwertung
- Finanzierung eines Notfonds (für eventuell liquidierte Betriebe)
- Ausbau der Altfahrzeuge Vereinbarung (Dokumentation, Meldung, Kontrolle)
- Geringer Preisanstieg der Neufahrzeuge (0,5 – 1 %)

### 2.3.2 Altfahrzeugeverordnung in Österreich

Die Umsetzung der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge erfolgt nach dem Bundesverfassungsgesetz unter Einhaltung der in der EU-Richtlinie festgelegten Fristen und durchläuft dabei die nationalen Verfahren der Gesetzesbildung.

Die Verordnung soll zur Umsetzung der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge 2000/53/EG in nationales Recht dienen und enthält grundsätzliche Bestimmungen über:

- die Vermeidung von Fahrzeugabfällen,
- die Rücknahme von Altfahrzeugen,
- die Wiederverwendung, das Recycling und andere Formen der Verwertung von Altfahrzeugen oder Altfahrzeugteilen,
- Anforderungen an Systeme zur Sammlung und Verwertung von Altfahrzeugen,
- Mindestbehandlungspflichten,
- Kennzeichnung und Demontageinformationen für Fahrzeuge, Berichts- und Informationspflichten. [5, Vorblatt]

#### 2.3.2.1 Gesetzliche Verankerung in Österreich

Derzeit ist das Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 1990, BGBl. I Nr. 108/2001) mit den Paragraphen § 7, § 7a, § 7c, § 11, § 14 und § 17 Basis dieser Verordnung. Die künftige Basis wird das AWG 2002 mit den Paragraphen § 14, 23 und 36 sein.

Für die endgültige Abmeldung eines Fahrzeuges in Österreich ist das Kraftfahrzeuggesetz Grundlage. Änderungen hierin sind, dass bei der endgültigen Abmeldung ein Verwertungsnachweis und der Typenschein vorzulegen sind, sowie eine Übermittlung von Abmeldedaten der zentralen Zulassungsevidenz an den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft zu erfolgen hat [5, S. 2].

### 2.3.2.2 Inhalt

Die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugeverordnung) ist in 13 Paragraphen und 5 Anlagen aufgebaut. Sie wird im November 2002 mit dem neuen AWG 2002 verlautbart und tritt am 6. November 2002 in Kraft, d.h. später, als von der Europäischen Union gefordert (21. April 2002).

Die wesentlichen Inhalte der Verordnung sind:

#### 1) Ziel [9, § 1]

- Vorrangig Vermeidung von Fahrzeugabfällen, insbesondere gefährlicher Abfälle
- Wiederverwendung, Recycling und andere Formen der Verwertung von Altfahrzeugen und ihren Bauteilen
- Verringerung der Abfallbeseitigung
- Verbesserung der Umweltschutzleistungen aller Wirtschaftsbeteiligten
- Nachhaltige Stoffbewirtschaftung

#### 2) Begriffsbestimmungen [9, § 2]

(vgl. Kapitel 2.1)

#### 3) Geltungsbereich [9, § 3]

- Fahrzeuge der Klassen M1 oder N1 sowie dreirädrige Kraftfahrzeuge (ausgenommen dreirädrige Krafträder; nur Rücknahmepflicht und Mindestanforderungen zur Lagerung und Verwertung).
- Die Fahrzeugklasse M1 betrifft Fahrzeuge zur Personenbeförderung, mit mindestens vier Rädern und höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz.
- Die Fahrzeugklasse N1 betrifft Kraftfahrzeuge für Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 t [16, S. 65]. Des weiteren gilt die Richtlinie für die Bauteile und Werkstoffe der Altfahrzeuge und unabhängig von der Wartung und anderwärtigen Bestückung (bzw. Austauschteilen) während deren Nutzung.
- Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung müssen die Recyclingquoten (lt. Paragraph 7) nicht einhalten: das sind Wohnmobile (M1), beschussgeschützte

Kraftfahrzeuge (M1, N1), Krankenwagen (M1), Leichenwagen (M1) und Feuerwehrfahrzeuge (M1).

- Auch Ersatzteile sind von der Verordnung erfasst [5, S. 10].

#### **4) Vermeidung [9, § 4]**

- Verbot des Einsatzes (für ab 1. Juli 2003 in Verkehr gebrachte Werkstoffe und Bauteile in Fahrzeugen) von Blei, Quecksilber, Cadmium und sechswertigem Chrom (mit Ausnahmen laut Anlage 2, mit den dort genannten Bedingungen).
- Vermeidung insbesondere von gefährlichen Abfällen [5, S. 10].

#### **5) Rücknahme durch Hersteller und Importeure [9, § 5]**

- Aufbau von Rücknahmesystemen und Bereitstellung der nötigen Infrastruktur für die Fahrzeugrückgabe durch die Hersteller/Importeure.
- Genehmigte Verwerter müssen dem Letzthalter einen Verwertungsnachweis ausstellen; Anlage 3 beinhaltet die Punkte des Verwertungsnachweises.
- Ordnungsgemäße Rückgabe des Altfahrzeuges ist für den Letzthalter kostenlos (Fahrzeug muss in Österreich zugelassen sein [5, S. 10]), Hersteller sollen die gesamten Kosten bzw. den wesentlichen Teil der Kosten tragen. Ab 1. Juli 2002 für alle Altfahrzeuge mit Erstzulassung ab 1. Juli 2002; ab 1. Jänner 2007 für alle Altfahrzeuge.
- Entgeltliche Rücknahme, wenn wesentliche Teile des Altfahrzeugs fehlen, das Altfahrzeug andere Abfälle beinhaltet oder nicht-typisierte Tuningteile und Aufbauten enthält [5, S. 11].
- Meldepflichten an das BMLFUW lt. Anlage 4 (jedes Kalenderhalbjahr, binnen 3 Wochen).
- Altfahrzeuge sind nach Anlage 1 (Behandlungsvorgaben) zu lagern und zu behandeln.
- Entsprechende Vorkehrungen zur Wahrung der Sammlung und Verwertung im Falle einer Liquidation eines Herstellers/Importeurs (Notfonds).
- Hersteller/Importeur kann Verpflichtungen vertraglich an ein Sammel- und Verwertungssystem übertragen.

#### **6) Behandlung [9, Anlage 1]**

- Gefährliche Werkstoffe und Bauteile sind vor dem nachfolgenden Shredder-Prozess vom Altfahrzeug zu entfernen (Schadstoffentfrachtung).
- Gemäss Anlage 2 gekennzeichnete Bauteile oder Werkstoffe müssen demontiert werden [23, S. 18].

- Zerlegung und Lagerung so, dass Bauteile wiederverwendbar und wiederverwertbar sind.
- Verbesserung des Recyclings durch Entfernung von Katalysatoren, Cu-, Al-, Mg-hältigen Metallbauteilen, Reifen, großen Kunststoffbauteilen (Stoßfänger, Armaturenbrett, Flüssigkeitsbehälter) und Glas.
- Betriebsmittelentnahme (Kühlmittel aus Klimaanlage, Stoßdämpferöl, etc.).
- Metallreiche Shredderleichtfraktion ist einer weiteren Metallrückgewinnung zuzuführen.
- Behandlungsstandorte müssen hohe Sicherheitsbedingungen erfüllen (undurchlässige Oberflächen, Auffangwannen, Lageranforderungen, Feuerschutz etc.).

### 7) Sammel- und Verwertungssysteme [9, § 6]

- Behandlungsanlagen müssen nach AWG § 7a genehmigt sein.
- Nachweispflichten können vertraglich vom Hersteller/Importeur übernommen werden (inkl. der Meldepflichten an BMLFUW).
- Tarifgestaltung nach einer Kostenkalkulation, in der die Sammel- und Verwertungskosten auf die Neufahrzeuge umgelegt werden; der Preisanstieg für Neufahrzeuge soll maximal 0,5 – 1 % des Fahrzeugpreises betragen [5, S. 6].
- Die Mittelverwendung hat nach Sparsamkeit, Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit zu erfolgen.

### 8) Wiederverwendung und Verwertung [9, § 7]

- Die Hersteller/Importeure haben der Wiederverwendung von wiederverwendbaren Bauteilen nachzukommen.
- Vorzugsweise sollen die nicht wiederverwendbaren Teile stofflich verwertet werden.
- Einhaltung der Zielvorgaben laut Tabelle 2.3, wobei sich das durchschnittliche Fahrzeuggewicht auf das Eigengewicht lt. Typenschein bemisst [5, S. 12].
- Hersteller/Importeur hat spätes bis zum Ende des folgenden Jahres nach Zurücknahme des Altfahrzeuges dieses gänzlich zu verwerten/entsorgen.

### 9) Kennzeichnungsnormen und Demontageinformationen [9, § 8]

- Kennzeichnungsnormen sind zu verwenden, um die Identifizierung von wiederverwendbaren/-verwertbaren Bauteilen zu erleichtern.
- Demontageinformationen sind vom Hersteller binnen sechs Monaten nach Inverkehrbringen eines neuen Fahrzeugtyps bereitzustellen – in Form von Handbüchern oder elektronischen Medien (IDIS = von Herstellern veröffentlichte und

kontinuierlich aktualisierte Information zur Demontage von wiederverwendbaren Teilen; wird vom Gesetzgeber prinzipiell als geeignet angesehen [5, S. 12]).

#### **10) Berichts- und Informationspflicht [9, § 9]**

- Hersteller/Importeure müssen Informationen über recyclinggerechte Konstruktion, umweltverträgliche Behandlung (Demontage, Flüssigkeitenentfernung) und Maßnahmen zur Verbesserung der Recyclingraten potenziellen Fahrzeugkäufern zugänglich machen (in die Werbeschriften aufnehmen).
- Hersteller/Importeur muss dem BMLFUW jährlich (bis 31. März des Folgejahres [23, S. 10]) über die Erfüllung der Verordnung berichten. Nachweis über Einhaltung der Verwertungsquote und Aufschlüsselung der wiederverwendeten/verwerteten Fahrzeugteile-Massen, nach Abfallarten und Übernehmern lt. Anlage 5.

#### **11) Pflichten der Altfahrzeugverwerter [9, § 10]**

- Diese gelten für Fahrzeughändler, Reparaturwerkstätte, Sekundärrohstoffhandel und sonstige Erwerbsmäßige, die Altfahrzeuge zur Wiederverwendung und Verwertung von Bauteilen übernehmen.
- Verwertungsnachweis an den Letzthalter und Meldepflichten an das BMLFUW (halbjährlich über die übernommenen Altfahrzeuge und Übergeber, sowie die wiederverwendeten oder verwerteten Materialien [23, S. 11]).
- Halbjährliche Shredderbilanz [23, S. 12] mit Gesamtmasse der übernommenen Altfahrzeuge und durchschnittlicher Verwertungsmenge pro Altfahrzeug, nach Abfällen gegliedert (lt. Anlage 5). Zumindest hat diese Bilanz Eisen- und Stahlabfälle, Nichteisenmetallabfälle sowie Shredderleichtfraktionen 1 (metallreich) und 2 (nichtmetallreich) zu enthalten [5, S. 12].

#### **12) Pflichten der Erstübernehmer [9, § 11]**

- Erstübernehmer sind Betriebe, die nicht im Auftrag eines Herstellers/Importeurs oder Systems Altfahrzeuge zurücknehmen. Der Erstübernehmer muss die Verwertungsquoten lt. EU-RL 2000/53/EG auch für diese Altfahrzeuge erfüllen (z. B. Fahrzeughändler bei der Rücknahme des Altfahrzeuges bei einem Zug-um-Zug-Geschäft [5, S. 12]).
- Bei der Rücknahme ist dem Halter/Eigentümer ein Verwertungsnachweis lt. Anlage 3 auszustellen.
- Rücknahme hat bei ordnungsgemäßer Rückgabe unentgeltlich zu erfolgen.

#### **13) Pflichten anderer Anfallstellen von Altfahrzeugen und Altbauteilen [9, § 12]**

- Dies betrifft Reparaturbetriebe, in denen Altbauteile anfallen und Betriebe, die funktionstüchtige Fahrzeuge übernehmen, die aber in Folge zu Altfahrzeugen werden.

- Diese Betriebe haben Meldepflichten und Behandlungs- bzw. Verwertungspflichten einzuhalten (Anzahl angefallener Altfahrzeuge, Sicherstellung der Behandlung im Shredder) [23, S. 14].

### 2.3.2.3 Interpretation der Altfahrzeugeverordnung

Schon in den Zielen ist verankert, dass gefährliche Abfälle, die nach dem Chemikaliengesetz definiert sind, vermieden werden sollen. Dies stellt eine Verschärfung der Verordnung im Vergleich zur EU-Richtlinie dar.

Die Verbesserung in recyclinggerechter Konstruktion ist in der österreichischen Verordnung nicht berücksichtigt worden, was eine drastische Abweichung von der EU-Richtlinie darstellt.

Die Recycling-Quoten (in Gew%) sind in Bezug auf das Eigengewicht lt. Typenschein zu erreichen. Eine genaue Definition über das Gesamtfahrzeuggewicht gibt die ISO-Norm 22628, bzw. die ISO-Norm 1176, es fehlt jedoch ein Bezug/Verweis auf diese internationale(n) Norm(en).

Der Ausbau der Recyclingmärkte wird in der Altfahrzeugeverordnung nicht gefordert und gefördert, obwohl die EU-Richtlinie dies vorsieht.

Die Shredderleichtfraktion (SLF) soll weiter aufbereitet werden, um eine weitere Verwertung zu ermöglichen. Hierin besteht jedoch das Problem, dass die SLF kaum einer stofflichen Verwertung zugeführt werden kann, da bisher der Aufwand für eine SLF-Trennung in verschiedene Fraktionen sehr hoch und kaum machbar ist. Wahrscheinlich ist die thermische Verwertung die einzige wirtschaftlich vertretbare Lösung.

Die Verordnung zielt in punkto Verwertung vor allem auf die thermische Verwertung (in der Mitverbrennung, da im österreichischen Recht (GewO, AWG) nur die Mitverbrennung einen thermischen Verwertungsweg darstellt, die Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen jedoch nicht) ab; dies steht in starker Konkurrenz zum vorzugsweise stofflichen Recycling.

Verschärft hat der Österreichische Gesetzgeber den Punkt Verwertung dahingehend, indem er zusätzlich eine Verwertungsfrist eingeführt hat, dass rückgenommene Altfahrzeuge spätestens bis zum Ende des Folgejahres der Rücknahme vollständig zu verwerten/beseitigen sind. Die Begründung dafür ist, dass es zukünftig keine „Autofriedhöfe“ mehr geben soll.

Die Sinnhaftigkeit eines Verwertungsnachweises in Österreich ist fragwürdig. Es existiert bereits ein Abmeldeprozedere in Österreich, bei dem die Meldestellen in Zusammenarbeit mit Versicherungsgesellschaften die wichtigsten Fahrzeugdaten bei einer endgültigen Abmeldung aufnehmen. Es ist beinahe doppelter Aufwand, nun extra noch einen Verwertungsnachweis mit diesem Daten zu befüllen.

Österreich hat die EU-Richtlinie nicht fristgerecht (erst im Herbst 2002 statt des geforderten Stichtages 21. April 2002) in nationales Recht umgesetzt. Verzögerungen haben sich u. a. daraus ergeben, dass es in Österreich noch im November 2002 ein neues Abfallwirtschaftsgesetz geben wird, in dem die Verordnung verankert ist [24]. Weiters soll durch die Verzögerung des Inkrafttretens die Verordnung bereits mit dem neuen Annex 2, der am 22. 5. 2002 vom TAC (Technischer Ausschuss) beschlossen worden ist, veröffentlicht werden[25]. Der neue Annex 2 tritt mit 1. Juli 2003 in Kraft [18, Artikel 3].

Die nicht fristgerechte Umsetzung der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge ist jedoch kein österreichisches Problem. Es gibt in der gesamten Europäischen Union keinen Mitgliedsstaat – nicht einmal Finnland, das Land, welches bisher alle Richtlinien fristgerecht umgesetzt hat – der die Umsetzung bis zum Stichtag 21. April 2002 abgeschlossen hat. [19, S. 3-4]

#### **2.3.2.4 Auswirkungen auf Magna Steyr Fahrzeugtechnik**

Die Geländewagen und anderen Fahrzeuge und Fahrzeugteile, welche die Magna Steyr Fahrzeugtechnik als Lieferant für andere Fahrzeughersteller produziert, entsprechen den Fahrzeugklassen M1 und N1<sup>4)</sup>. Die produzierten Fahrzeuge und Komponenten fallen also in den Geltungsbereich der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge und der Altfahrzeugeverordnung.

Magna Steyr Fahrzeugtechnik tritt momentan mit seinen laufenden Entwicklungen und Produktionen nicht als Hersteller auf, da sie laut gesetzlicher Definition kein Erkennungszeichen, Emblem oder ihren Namen an die Produkte anbringt. Das heißt jedoch nicht, dass sie nicht von der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge betroffen wäre.

Über Lastenhefte und Anforderungen der Kunden von Magna Steyr Fahrzeugtechnik fließen die rechtlichen Anforderungen indirekt in laufende Entwicklungsprojekte ein. Die Hersteller BMW, Daimler Chrysler, Volkswagen und alle anderen Kunden müssen als Hersteller ihre Lieferanten in die Pflicht nehmen. Auch die Magna Steyr Fahrzeugtechnik fordert die Einhaltung der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge von ihren Unterlieferanten.

Betroffen von der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge ist die Magna Steyr Fahrzeugtechnik auch diesbezüglich, dass sie nicht umhin kommen wird, die Rücknahmepflicht für alte Heeresfahrzeuge (Puch G, Puch Pinzgauer, Puch Haflinger) einzuhalten. In den Typenscheinen dieser Fahrzeuge ist die Magna Steyr Fahrzeugtechnik – ehemals Steyr Daimler Puch Fahrzeugtechnik – als Hersteller angeführt.

---

<sup>4)</sup> EU-R 70/156/EWG, Anhang II, Abschnitt A, Pkt. 4

### 2.3.3 Gegenüberstellung

Die folgende Tabelle 2.4 zeigt auf, wie die Artikel der Richtlinie in der österreichischen Verordnung als Paragraphen ausgelegt worden sind und wo die Unterschiede bzw. Auslegungsbesonderheiten zu finden sind. Sie spiegelt die österreichische Gesetzeslage wider und zeigt, dass sich eine EU-Richtlinie nicht wortwörtlich in nationales Recht überführen lässt.

Tabelle 2.4: Unterschiede zwischen EU-Richtlinie und österreichischer Verordnung

	<b>EU-Richtlinie 2000/53/EG</b>	<b>Altfahrzeugeverordnung</b>
<b>Ziele</b>	Vermeidung, Verwertung, Umweltverbesserung	Vermeidung insbesondere gefährlicher Abfälle (zusätzlich); nachhaltige Stoffbewirtschaftung
<b>Begriffsbestimmungen</b>	Definition von Vermeidung, Recycling, Beseitigung, Wirtschaftsbeteiligten, die in Österreich nicht definiert sind	Teilung des Begriffs Hersteller in Hersteller und Importeur; Erstübernehmer als neuer Begriff; Verwertung wird als thermische Verwertung in Mitverbrennungsanlagen definiert
<b>Geltungsbereich</b>	Besondere Zweckbestimmungen	In Österreich sind Feuerwehrfahrzeuge zusätzlich angeführt (Ausnahme von den Verwertungsquoten)
<b>Vermeidung</b>	Ab Konzeptentwicklung eines Fahrzeuges recyclingoptimiert entwickeln, um das Recycling zu erleichtern, die Notwendigkeit der Beseitigung gefährlicher Abfälle reduzieren; verstärkter Einsatz von Recyclingmaterialien; Stoffverbote	„nur“ Stoffverbote und Kennzeichnung (Annex 2) von zu entfernenden Teilen vor der Shreddering; in den Zielen ist bereits die nachhaltige Stoffbewirtschaftung gefordert
<b>Rücknahme</b>	Wirtschaftsbeteiligte für Aufbau von Systemen verantwortlich	Hersteller/Importeure verantwortlich; Einführung eines Notfonds für Liquidationen; Meldepflichten an BMLFUW
<b>Behandlung</b>	Eigener Artikel	Anlage 1
<b>Verwertungssysteme</b>	Kein Artikel	Zusätzlicher Paragraph in Österreich; Kostenumlage der Verwertung auf Neufahrzeuge
<b>Wiederverwendung und Verwertung</b>	Zielvorgaben und Quoten zur Verwertung	Das durchschnittliche Fahrzeuggewicht entspricht dem Eigengewicht lt. Typenschein; Zusätzlich eine Verwertungsfrist, dass rückgenommene Altfahrzeuge spätestens bis Ende des Folgejahres der Rücknahme vollständig zu verwerten/beseitigen sind
<b>Berichtspflicht</b>	Jährlicher Bericht des Mitgliedstaates an die Europäische Kommission	Hersteller und Importeure müssen dem BMLFUW gemäß Anlage 5 Bericht erstatten
<b>Pflichten</b>	Nicht eigens in der Richtlinie definiert	Pflichten der Altfahrzeugeverwerter, Erstübernehmer und anderer Anfallstellen von Altfahrzeugen und -bauteilen in § 10, 11 & 12

## 2.4 Normen

Für die technische Bearbeitung der Problematik Altfahrzeugrecycling ist eine Reihe von Normen und Richtlinien erhältlich. Diese Standards geben Auskunft über recyclingoptimierte Konstruktion, Berechnungsmethodiken für die Recyclingquotenbestimmung, Definitionen bezüglich Massen und Typen, Werkstoffkunde, Kennzeichnung und deklarationspflichtige Stoffe im Kraftfahrzeug etc. In Tabelle 2.5 sind die derzeit für das Recycling im Automobilbau gültigen Normen und Richtlinien aufgelistet.

Tabelle 2.5: Normen und Richtlinien zum Altfahrzeug-Recycling

Nummer	Titel
<i>ISO / DIN</i>	
ISO 22628: 2002	Road Vehicles – Recyclability and recoverability – Calculation Method
ISO 1176: 1990	Road Vehicles – Masses – Vocabulary and codes
ISO 3833: 1977	Road Vehicles – Types – Terms and definitions
ISO 1043-1: 2001	Plastics-Symbols – Basic Polymers
ISO 1043-2: 2000	Plastics-Symbols – Fillers and Reinforcing Materials
ISO 11469: 2000	Plastics-Generic Identification and Marking of Plastic Products
ISO 1629: 1992	Kautschuk und Latices - Einteilung und Kurzzeichen
DIN 60 001 Teil 1	Textile Faserstoffe, Kurzzeichen (2001)
DIN 8591	Fertigungsverfahren Zerlegen (1985)
<i>VDI / VDA</i>	
VDI 2243	Recyclingoptimierte Produktentwicklung (2000)
VDA 232-101	Deklarationspflichtige Stoffe (2000)
VDA 673 400	Elastomer-Bauteile in KFZ, Benennung der Elastomere, Polymere Ausgangsstoffe
VDA 260	Kraftfahrzeuge, Kennzeichnung von Bauteilen aus polymeren Werkstoffen (1996)
VDA 231-106	Werkstoff-Klassifizierung im Kraftfahrzeugbau-Aufbau und Nomenklatur (1997)

### 3 Recyclingkonzepte und Altfahrzeuerverwertung

Grundsätzlich ist vorzuschicken, dass technisch oft mehr möglich ist, als wirtschaftlich umsetzbar ist. Welche Kriterien in diese Aussage münden, zeigt die folgende Abbildung 3.1, die das Spannungsdreieck Ökonomie, Technik und Ökologie bezüglich des stofflichen Recyclings darstellt.



Abbildung 3.1: Stoffliches Recycling – Einflusskriterien [1, S. 7]

Wenn man nun in Betracht zieht, dass die Erreichung der Verwertungsquoten und Ziele der EU-RL über Altfahrzeuge in Richtung verstärktes stoffliches Recycling abzielt, und dies mit der derzeitigen Situation vergleicht, wo stoffliches Recycling noch nicht weit über das Massenschrottreycling hinaus geht, wird die Forderung nach Demontagekonzepten als Grundlage des Materialrecyclings immer lauter.

#### 3.1 Derzeitiger Stand in der Altfahrzeuerverwertung

Der erste Schritt einer Altfahrzeuerverwertung ist festzustellen, wie und welche Bauteile mit ihren Werkstoffen wiederverwendbar oder verwertungswürdig sind (siehe Abbildung 3.2). Danach hat mit verfahrenstechnischen Werkzeugen eine Durchführung des Recyclings zu erfolgen.

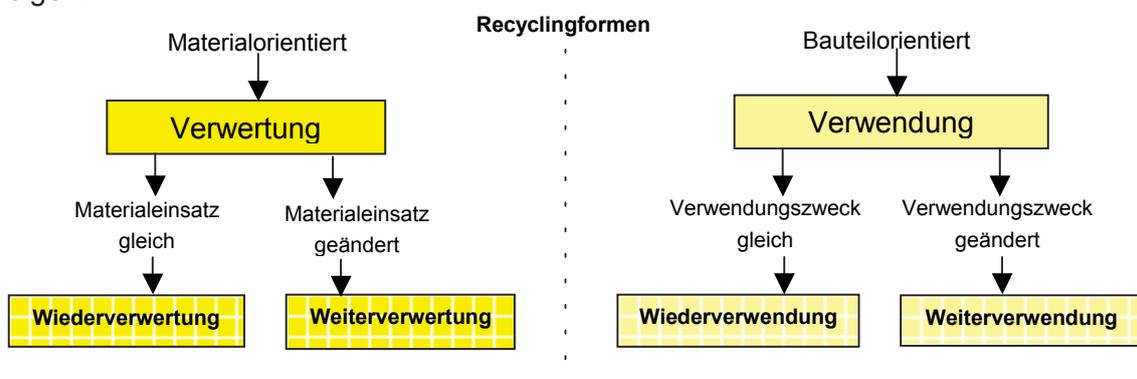


Abbildung 3.2: Gliederung der Recyclingformen [26, S.12]

Die derzeit praktizierte Altfahrzeugeverwertung wird in Abbildung 3.3 gezeigt, und stellt eine Grundlage für die nach der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge zu erreichende Verwertungsquote von 95 Gew% dar. Um ein reststoffreies Recycling zu gewährleisten, muss eine Optimierung von einzelnen Verfahrensschritten erfolgen [27, S. 189].

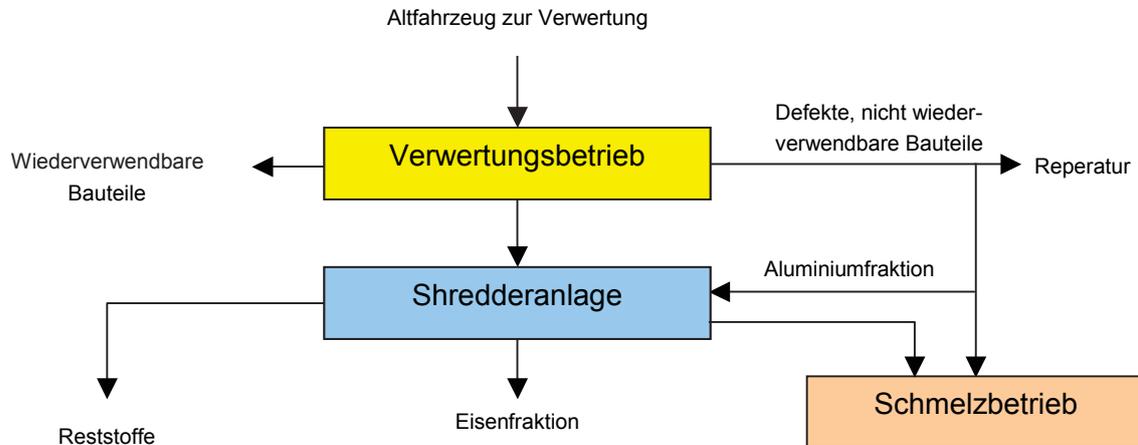


Abbildung 3.3: Schema der Altfahrzeugeverwertung [28]

Die Stoffströme und derzeit überwiegend eingesetzten Verfahren zum Recycling von Altfahrzeugen sind in Abbildung 3.4 übersichtlich zusammengefasst. Beim sehr heterogenen Werkstoffeinsatz im (Alt-)Fahrzeug ist das klassische Recyclingverfahren ineffizient, das primär auf Zerkleinerungs- und Aufbereitungsverfahren der stofflichen Metallverwertung abzielt.



Abbildung 3.4: Verfahrensschritte und Verwertungswege beim Kraftfahrzeug-Recycling [1,S.3]

Stand der Technik zur Massenschrotterarbeitung ist die Shredderanlage. Für den im Automobil wachsenden Anteil der verschiedenen verwendeten Kunststoffe, für organische Stoffe (Leder, Textilien), leichte Gummi- und Metallfragmente, Glas, Schmutz, Lack, Beschichtungen und Betriebsflüssigkeiten kann mit der klassischen Shreddertechnik zur Zeit kein befriedigendes Trenn-Ergebnis in diese Fraktionen erzielt werden. Daher müssen Altfahrzeuge vor einer weiteren Behandlung in Shredderanlagen zumindest trockengelegt und teilweise demontiert werden (Batterie- Kraftstoffentfernung etc.) [1, S. 3-6].

### 3.1.1 Shredderanlage

Der Shredder ist im Prinzip ein Hammerbrecher, ein mechanisches Aggregat zur Zerkleinerung. Unter Berücksichtigung des Bruchverhaltens verschiedener Schrotte gibt es verschiedene Ausführungen von Hammerbrechern:

- Shredder für Schrottkarosser und Mischschrott aus Altelektrogeräten, Fahrrädern und Leichtschrott
- Zerdiretoren, die den Shreddern sehr ähnlich sind, aber auch für die Aluminiumschrotterkleinerung (Bleche und Gussteile) eingesetzt werden können (Aluminiumbleche würden die Hämmer eines gewöhnlichen Shredders verkleben)
- Kondiretoren für mittelschweren Mischschrott mit Massivschrottteilen, die bei Shreddern oder Zerdiretoren starke Schäden verursachen

Dem Hammerbrecher ist austragsseitig eine Entstaubung des zerkleinerten Schrottes nachgeschaltet. Dabei werden sehr leichte, flugfähige Teile und Feinstäube entfernt. Zusätzlich ist dafür eine separate Windsichtung im Einsatz. Auf diesem Wege entsteht die sogenannte Shredderleichtfraktion (SLF) und die Shredderschwerfraktion (SSF) [29, S. 45f]. Dem Grobaustrag der Windsichtung (entspricht der SSF) nachgeschaltet findet sich die Magnetscheidung zur Trennung von Eisenschrott und Nichteisenmetallen (Al, Mg, Cu) bzw. Nichtmetallen (Staub, Sand, Kunststoff, Glas). Anschließend erfolgt optional noch eine Handsortierung, wodurch noch zusätzlich Eisen und Buntmetalle separiert werden können [30, S. 101].

Eine letzte Stufe in der Aufbereitung der Schwerfraktion stellt die Sink-Schwimm-Anlage dar, in der eine weitere mehrstufige Trennung des Nichteisen-Metall-Shredderschwerfraktion-Gemisches in Shredderschwerfraktion, Magnesium und Aluminium erfolgt [29, S. 47ff].

Die folgende Abbildung 3.5 zeigt den Verfahrensablauf und die nachgeschalteten Aggregate im Shredderprozess.

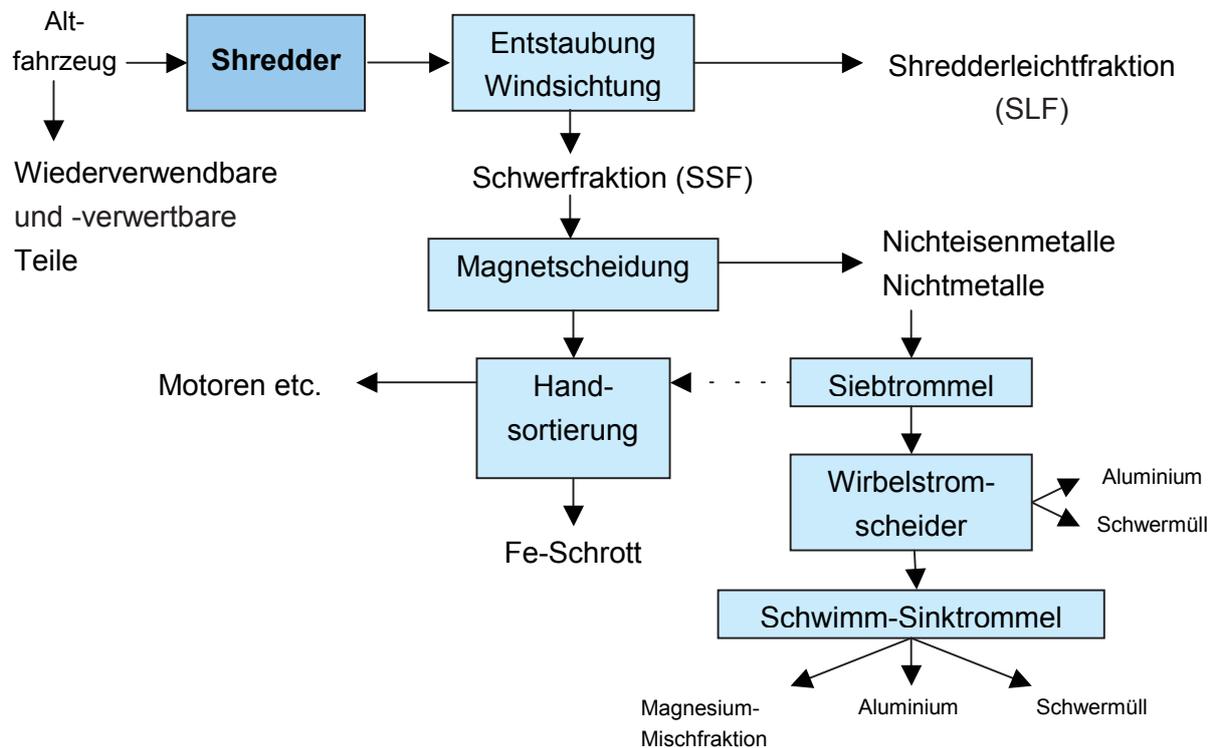


Abbildung 3.5: Shredderanlage mit Aufbereitung [29, S. 48], [30, S.101]

### 3.1.1.1 Eisenschrott

Zur Verwertung von Eisenschrott bieten sich grundsätzlich das Siemens-Martin-Verfahren, das Sauerstoffblasverfahren, der Hochofen und der Elektrolichtbogenofen an, wobei dem Siemens-Martin-Verfahren kaum noch Bedeutung zukommt. Der Hochofen als Aggregat zur Roheisengewinnung ist auch kein optimales „Schrotterverwertungsaggregat“, da die Qualitäts- und Umwelanforderungen (Emissionsvorschriften) im Bereich Roheisenerzeugung ständig steigen. Daher werden in der Praxis heute vor allem die beiden anderen Verfahren angewendet. Das Sauerstoffblasverfahren zur Stahlerzeugung weist eine eher geringe Altschrottiintensität vor (0-40% Schrotteinsatz). In diesen Prozess wird geschredderter Schrott primär als „Kühlschrott“ zur Temperaturregelung beim Abstich der Stahlschmelze eingesetzt und sekundär als Roheisenersatz. Bei hohen Stahlqualitäten (hochwertige Flach- und Schwerstähle, Kohlenstoffstähle) ist der Einsatz von Schrott verboten, um die Zusammensetzung der Stahlsorten nicht zu beeinträchtigen. Im Elektrolichtbogenofen kann man bis zu 100% Schrott einsetzen. Dementsprechend geringer werden hingegen auch die gewonnenen Stahlqualitäten (Baustähle etc.) sein, da mit steigendem Schrotteinsatz (je nach Schrottqualität) mehr Verunreinigungen in den Prozess einfließen und teilweise im Produkt verbleiben [7, S. 207ff].

Problematisch in der Schrottaufschmelzung ist vor allem der hohe Gehalt an Zink, der in den Prozess durch verzinkte Bleche eingebracht wird. Zink verdampft und geht in den Abgasstrom über, fällt nach Kondensation und Filtration als Zink-Staub an, der anschließend pelletiert wird. Dieser Zink-Staub wird schließlich im Drehrohr reduziert und reagiert in einer Kohlenmonoxidatmosphäre anschließend zu reinem Zink (Wälzverfahren) [31, S. 46-47].

### 3.1.1.2 Aluminiumschrott

Dem Aluminiumrecycling kommt durch die hohe Recyclingfähigkeit und den großen Energieeinsparungen in der Sekundärmetallurgie eine ganz besondere Bedeutung zu. Die folgende Abbildung 3.6 gibt Auskunft über den Recyclingfluss der Aluminium-Sekundärmetallurgie.

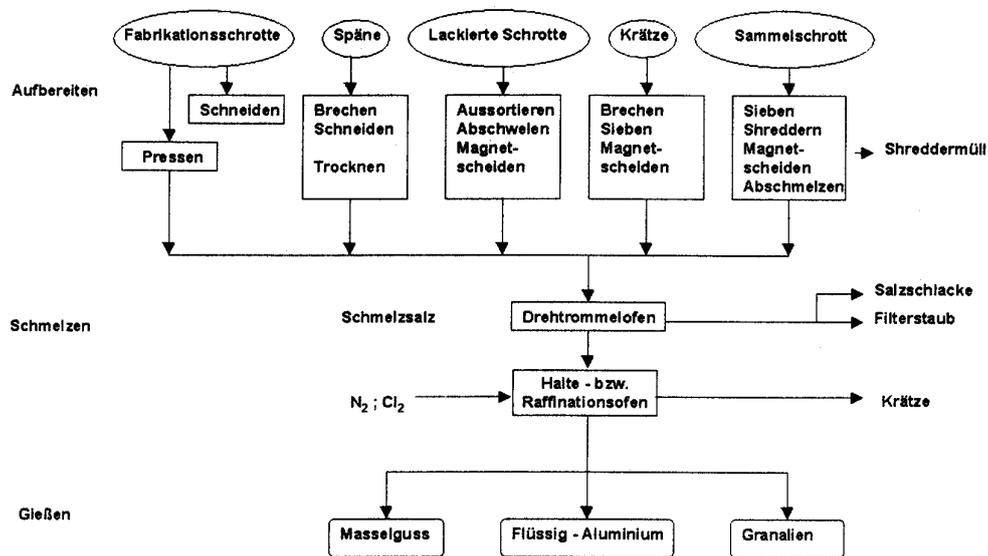


Abbildung 3.6: Schema für das Al-Recycling [32, S. 7]

Da die Verunreinigung von Aluminiumschrott gering gehalten werden muss, kommt der Aufbereitung große Bedeutung zu. Zur Erzielung ofengängiger Einsatzstoffe werden verschiedene Verfahren, einzeln oder kombiniert, angewandt (Mahlung und Windsichtung (der Krätze), Shreddern, Abschwelen, Pakettieren, Magnetschneiden und die Sink-Schwimm-Aufbereitung). Für das Recycling von Aluminium gibt es zwei Möglichkeiten, die nachfolgend beschrieben werden [31, S. 33-38]:

**Remelting:** Das Aluminium kann, sofern es in definierter Form gesammelt wird, zu einer walzbaren Legierung rezykliert werden (Knetlegierungen). Hierdurch können Energieverbrauch und Emissionen im Vergleich zur Primärerzeugung deutlich vermindert werden. Remelter produzieren auf Schrottbasis durch Umschmelzen vor allem Knetlegierungen, d.h. Pressbolzen und Walzbarren. Sie erfordern als Input nicht

verunreinigte Schrottqualitäten und bestimmte chemische Zusammensetzungen. Oft entspricht nur Neuschrott diesen Anforderungen, allerdings setzen Remelter immer mehr beschichtete oder anders verunreinigte Schrottarten ein. Auf jeden Fall muss die metallurgische Analyse genau mit dem zu produzierenden Typ von Knetlegierung zusammenpassen. Das typische Produktionsverfahren ist der offene Herdofen. Oxidation und der Anfall von Krätzen sind typische Begleiterscheinungen. Knetlegierungen beinhalten in der Regel geringe Mengen von Legierungselementen .

Refining: Nicht sortenreine Legierungen können unter Salz umgeschmolzen werden. Dieses Verfahren wird vor allem für Gussanwendungen (z.B. Automobilindustrie) benutzt. Im Gegensatz zu Knetlegierungen können für die Produktion von Gusslegierungen alle Schrottsorten eingesetzt werden, auch solche mit einem höheren Eisenanteil. Sie können die gewünschten Eigenschaften nur erreichen, wenn höhere Anteile der Legierungselemente Zink, Kupfer und Magnesium dem Prozess zugeführt werden. Das typische Schmelzaggregat ist der Drehtrommelofen, der das umfassende Recycling aller Schrottsorten erlaubt. Das Umschmelzen erfolgt unter Salz, das aus Natriumchlorid, Kalziumchlorid und in geringer Menge aus Kalziumfluorid besteht. Zur Vermeidung von Abbrandverlusten und zur Bindung von Verunreinigungen wird das Bad mit Salz abgedeckt.

Hinsichtlich einer Produktabgrenzung unterscheiden sich die Produkte der beiden Industrietypen (Refining und Remelting) nicht nach Metallqualitäten, sondern nach metallurgisch unterschiedlichen Produkten. Gusslegierungen enthalten mehr Beimischungen, etwa rund 3,5% Kupfer und 9 bis 11% Silizium. Sie werden vergossen und werden z.B. zur Erstellung von Automotoren verwendet.

### 3.1.1.3 Shredderleichtfraktion (SLF)

Die Shredderleichtfraktion, also die beim Windsichten abgetrennte, leichtere Fraktion, besteht aus rund 35% aus Kunststoffen, organischen Verbunden und Textilien, rund 25% aus Gummi und zu rund 40% aus anorganischen Stoffen (Rost, Nichteisenmetalle und Glas). Der Heizwert beträgt ca. 12,8 MJ/kg im Rohzustand (vergleichbar mit Holz). Der Chlorgehalt liegt bei rund 2%, zudem kann die SLF Dioxine und polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten. Sie ist daher seit 1.1.1990 als besonders überwachungsbedürftiger Abfall, also Sonderabfall, eingestuft. [33, S. 34] Eine genaue Zusammensetzung der Shredderleichtfraktion ist in Tabelle 3.1 ersichtlich [7, S. 223].

Tabelle 3.1: Zusammensetzung einer typischen Shredderleichtfraktion [34, S. 399]

Material	Anteil (Gew%)
Kunststoffe (PP, PE, PS, ABS, Polyamid, im wesentlichen Formteile)	13
PVC aus Folien, Kunstleder, Unterbodenschutz, Kabelummantelungen	6
Polyurethanschaumstoffe aus Sitzen	7
Andere Thermo- und Duroplaste	3
Elastomere, Matten, Gummi aus Reifen	23
Holz, Zellulosestoffe (Pappe, Papier)	4
Andere Faser- und Bezugstoffe (Textilfasern, Glasfasern, Leder)	6
Lack	3
Glas und Keramik	13
Eisen	13
Kupfer	1
Aluminium	3
Andere Bestandteile und Fremdstoffe (Sand, Staub, Rost, Blei, Zink)	5

Die SLF wird primär deponiert und keiner weiteren Verwertung zugeführt. Ab dem Jahr 2004 wird in der österreichischen Deponieverordnung gefordert, die Schredderleichtfraktion vor der Deponierung zu behandeln. Eine direkte Deponierung der Schredderleichtfraktion ist also ab dato verboten [35, S. 2].

Es bieten sich aus derzeitiger Sicht die zwei Verfahrenstypen chemisch-physikalische Verwertung und thermische Verwertung für die SLF an. Für die chemisch-physikalische Verwertung ist jedoch ein sortenreiner Kunststoff einzusetzen, d.h. die SLF ist zuvor noch weiter aufzubereiten. Verfahren diesbezüglich sind Hydrierung, Hydrolyse und Alkoholyse. Die thermische Verwertung kann als Pyrolyse, Vergasung oder reine Verbrennung erfolgen [33, S. 34ff].

Eine weitere mögliche chemisch-rohstoffliche Verwertungsmöglichkeit stellt der Einsatz des sortenreinen organischen Anteils der SLF-Fraktion als Reduktions- und Aufkohlungsmittel in der Eisen- und Stahlindustrie dar. Dies setzt jedoch eine vorhergehende aufwendige Aufbereitung und Trennung der SLF in die Fraktionen Ferrometalle, Kupferhäcksel, Metall-Mineral-Mischfraktion und eine homogene qualitätsgesicherte organische Fraktion voraus. Diese Auftrennung der SLF erfolgt bereits in einem Pilotprojekt in Deutschland nach dem trockenmechanischen SORTEC-Verfahren (auch WESA-SLF-Verfahren genannt) [36, S. 42f].

In Österreich konnten zwischenzeitlich zwei Wege der thermischen Behandlung und energetischen Verwertung von Shredderabfall (gemäß Stand der Technik) großtechnisch

nachgewiesen werden, nämlich die Rostfeuerung und der Wirbelschichtkessel. Problematisch sind jedoch die noch verbleibenden anorganischen Rückstände aus der thermischen Behandlung der Shredderabfälle, was weitergehende Anforderungen in Verwertung, Inertisierung und Immobilisierung zur Folge hat, damit die Deponieverordnung mit ihren strengen Anforderungen für die obertägige Ablagerung von Rückständen eingehalten werden kann [21, S. 12f]. Weitere Pilotversuche werden von der Firma voestalpine durchgeführt. Es handelt sich hierbei um den Einsatz einer nach dem Sicon-Volkswagen-Prozess aufbereiteten SLF als Reduktionsmittel in den Hochofen (Ersatz für das bisher eingesetzte Erdöl). Die Versuche zeigen in der technischen Umsetzung positive Ergebnisse aber es ist nicht zu erwarten, dass diese Verwertungsform der SLF – als stoffliches Recycling – in Österreich auch rechtlich ermöglicht werden wird [37, S. 10-11].

### 3.1.2 Kunststoffalteile

Die Verfahren des stofflichen Recyclings sind nur dann sinnvoll, wenn der Kunststoff in sortenreinen Fraktionen, vorzugsweise mit nur einem Kunststofftyp, vorliegt (vor allem Produktionsabfälle), da viele Kunststoffsorten nicht verträglich<sup>5)</sup> sind. Ein weiterer Punkt in der Wahl der Verfahren zum Kunststoffrecycling ist die Tatsache, dass Altkunststoffe während ihrer Nutzung durch thermische, mechanische, oxidative und photochemische Abbauprozesse geschädigt worden sind [38, S. 123]. Die Abbildung 3.7 zeigt zusammengefasst die Verwertungsmöglichkeiten bezogen auf die Qualität der Altkunststoffe.

Für (werk)stoffliches Recycling geeignete Kunststoffe sind Polypropylen (PP und PP GF 30), Polyvinylchlorid (PVC), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polyamid (PA 6, PA 6 GF 30, PA 66, PA 66 GF 30), Polyoxymethylen oder Polyformaldehyd bzw. Polyacetal (POM), Polycarbonat (PC) und Polyphenylenether (PPE) [39, S. 9].

Am rohstofflich/chemischen Verwertungssektor bieten sich eine Reihe von Technologien und Verfahren an, um minderqualitative Kunststoffe und Kunststoffgemische als Rohstoff neuer Polymere oder anderer Kohlenwasserstoffe einzusetzen. Im wesentlichen basieren diese Formen der Verwertung auf großtechnisch erprobten petrochemischen Verfahren mit vergleichbaren Produkten, wie z.B. Synthesegas und niedermolekulare Kohlenwasserstoffe [38, S. 255-258].

Aufgeteilt in die Gruppen Hydrolyse/Acidolyse, Alkoholyse/Glykolyse und Hydrierung lassen sich folgende Kunststoffe chemisch verwerten [39, S. 9]:

---

<sup>5)</sup> zur Bestimmung, welche Kunststoffe verträglich miteinander verarbeitbar sind, gibt es eigene Verträglichkeitsmatrizen [38, S. 72], [41, S. 29], [42, S. 3]

- Hydrolyse/Acidolyse in Abhängigkeit vom Basispolymer: PA 6, PA 66, POM, PC, Polyurethan (PU), Ungesättigtes Polyesterharz (UP), Melamin-Formaldehyd-Harz (MF) und Epoxidharz (EP)
- Alkohololyse/Glykolyse: PA 6, PA 66, PC, PU, UP, MF, EP
- Hydrierung: PP, PVC, ABS, PA 6, PA 66, POM, PC, PPE, Ethylen-Propylen-Dienpolymerisat-Terpolymer-Kautschuk (EPDM), Chloropren-Kautschuk (CR), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), PU, UP, Phenol-Formaldehyd (PF), MF, EP

In die Verfahren der thermischen Verwertung – Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung – lassen sich alle Kunststoffe einsetzen. Zu berücksichtigen sind Umweltauflagen (Emissionen, Immissionsschutz etc.) für die entsprechenden verfahrenstechnischen Prozesse[39, S. 9].

Kunststoffe, die nicht einer stofflichen, chemischen oder thermischen Verwertung zugeführt werden, sowie Reststoffe aus der Kunststoffverwertung, werden deponiert.

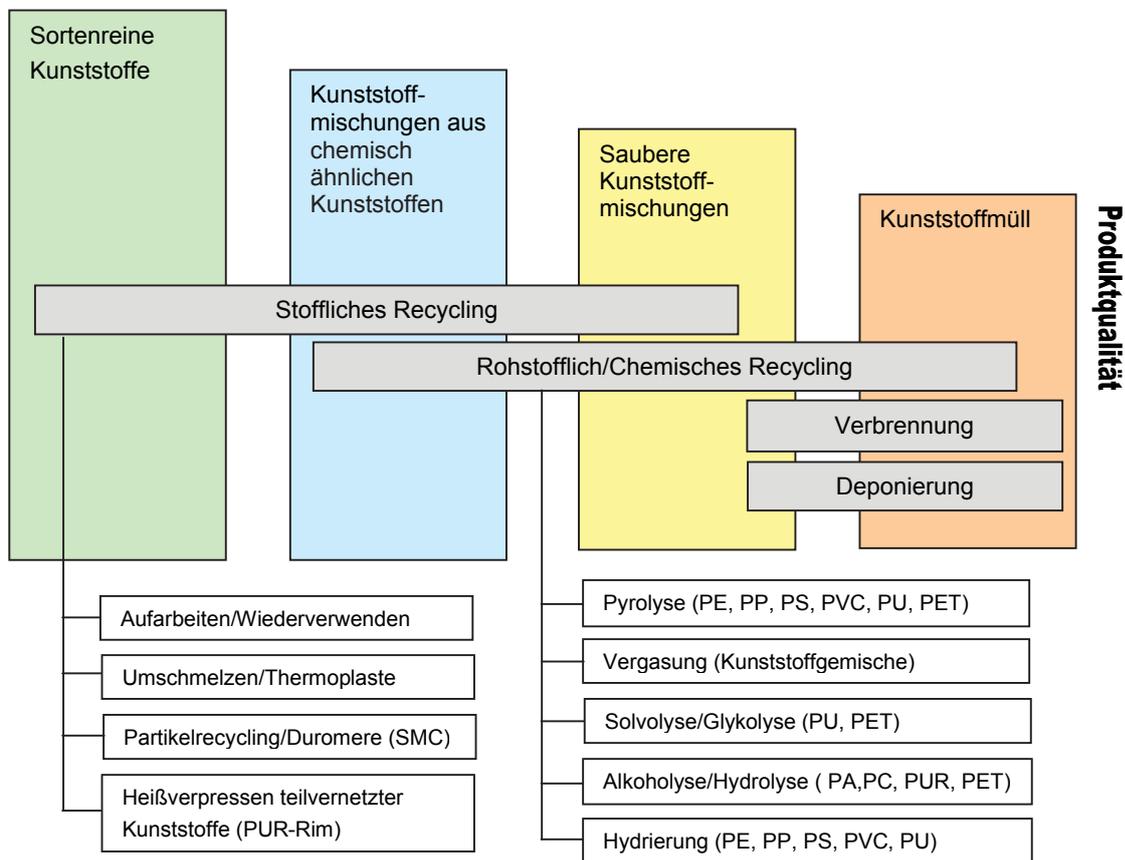


Abbildung 3.7: Recyclingkaskade und Verwertungsmöglichkeiten von Kunststoffen [34, S. 427ff], [40, S. 34], [38, S. 221], [41, S. 28]

### 3.1.3 Aktuelle Verwertungsquoten in Österreich

Laut des Berichtes der Wirtschaftskammer Österreich „Umweltverträgliches Alt-PKW-Recycling“ aus dem Jahr 2001 gibt es einen Pilotversuch von zwei Shredderbetrieben in der Steiermark und in Niederösterreich zur Feststellung der Verwertungsquoten für die Gesamtheit der Altfahrzeuge im Jahresdurchschnitt. Ergebnisse daraus sind:

- Das Leergewicht der kompletten Altfahrzeuge im Durchschnitt beträgt ca. 1000 kg
- Das Gewicht aus Demontage und Trockenlegung beträgt ca. 250 kg
- Das Gewicht vor der Aufbereitung im Shredder beträgt ca. 750 kg
- Das Gewicht der weiter- und wiederverwertbaren Fraktionen aus dem Shredderprozess beträgt ca. 500 kg
- Der zu deponierende Shredderabfall hat ein Gewicht von 250 kg

Die Verwertungsquote liegt derzeit bei 75 Gew%. Es muss also jedenfalls eine verstärkte Aufbereitung (Demontage, Trockenlegung) vor dem Shredderbetrieb gemäß des Standes der Technik erfolgen, um die geforderten Quoten der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge erreichen zu können [21, S. 11f].

## 3.2 Altfahrzeuge-Recycling

Der nach heutigem Stand der Technik realisierbare Weg beim Altfahrzeuge-Recycling basiert auf Pilotprojekten der Automobilhersteller, den Tätigkeiten des Vereins Deutscher Automobiltechniker (VDA) und der Recyclingwirtschaft. Alle Verwertungskonzepte (siehe Abbildung 3.8) sehen die Demontage von Bauteilen und Komponenten vor dem Shreddern vor. Begründet wird dieser Schritt damit, dass bezweifelt wird, die Shredderrückstände sortenrein für stoffliches und chemisches Recycling gewinnen zu können [43, S. 26f].

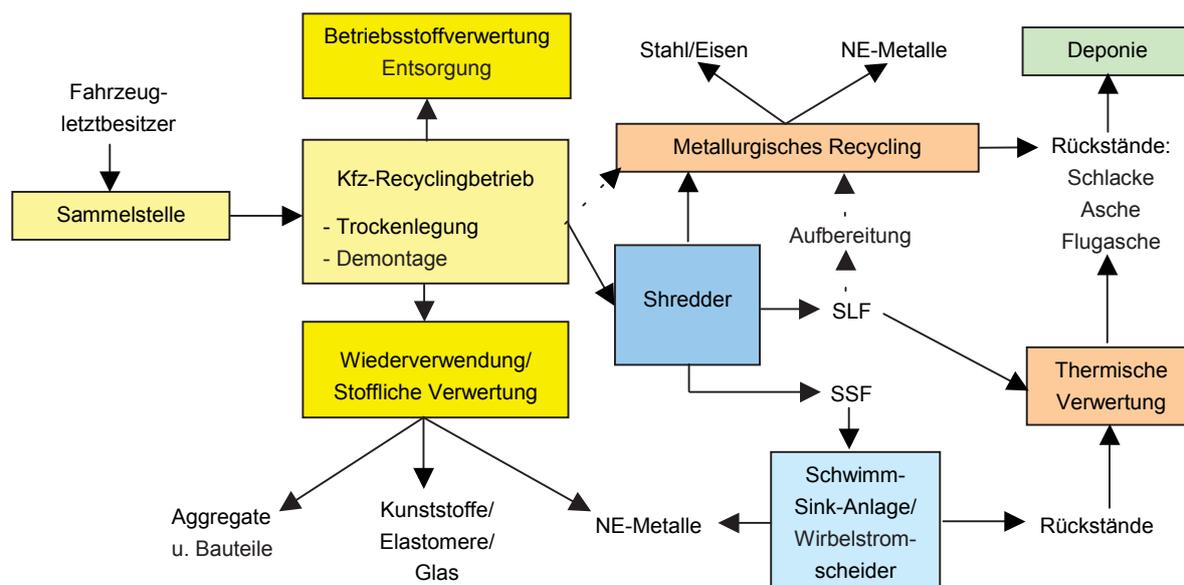


Abbildung 3.8: Altfahrzeuge-Recycling nach dem Stand der Technik [43, S. 27], [1, S. 37]

Das moderne Konzept einer Altautoverwertung sieht somit folgende sechs Stufen in der Verwertung vor [44, S. 250-251]:

- 1) Rückgabe des Altfahrzeugs bei einem lizenzierten Verwerter mit Aushändigung des Verwertungsnachweises
- 2) Betriebsstoffentnahme, Ausbau/Behandlung der Starterbatterie und Pyrotechnik
- 3) Demontage gebrauchter Komponenten, z.B. Türen, zum Weiterverkauf als Ersatzteile
- 4) Demontage geeigneter Teile zur Verwertung in Materialkreisläufen (Metalle, Kunststoffe, Elastomere und Glas)
- 5) Chemisch-rohstoffliches Recycling für Teilumfänge der organischen Werkstoffe
- 6) Energetische Nutzung der übrigbleibenden organischen Restfraktion

Somit lässt sich der Kreislauf im Automobilbau schließen, wie Abbildung 3.9 zeigt.

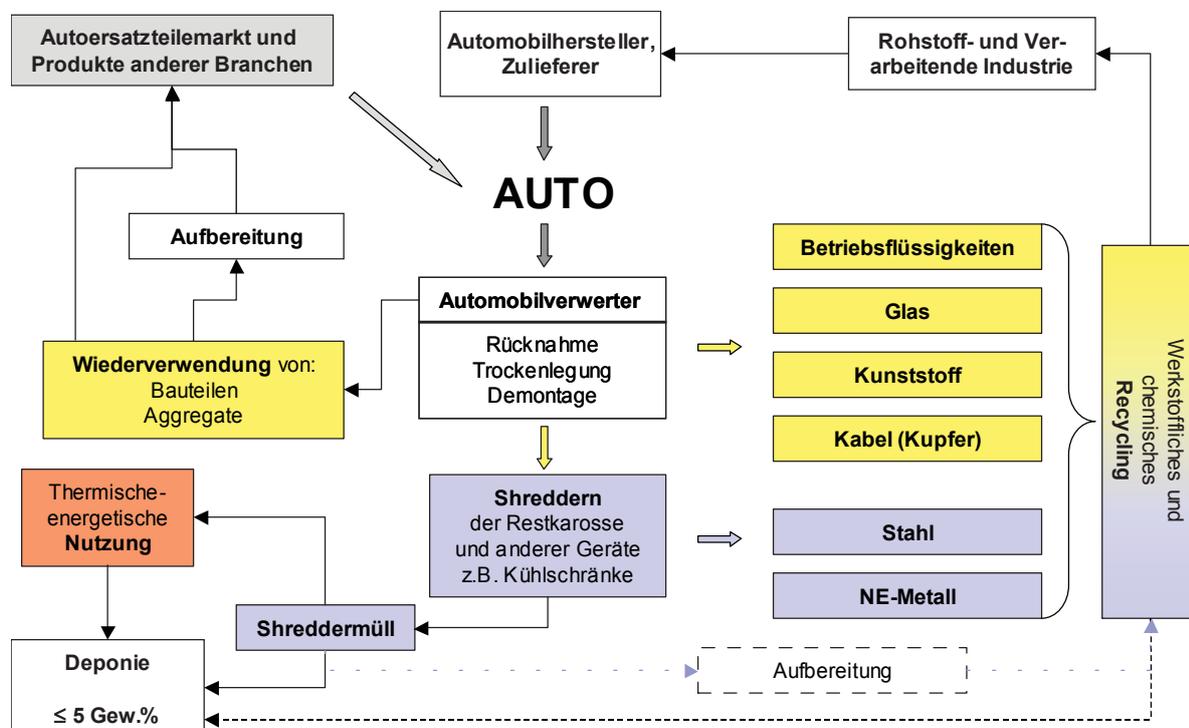


Abbildung 3.9: Das Autos im Recyclingkreislauf

### 3.3 Demontage

Neben den herkömmlichen Einsatzgebieten für die Demontage wie Reparatur, Wartung und Instandhaltung wird die Demontage zunehmend auch in Recyclingprozesse integriert. In Konkurrenz zur Demontage stehen dabei andere Prozesse wie Shreddern, Pressen oder Pyrolyse. Der Vorteil der Demontage besteht nun darin, dass die Rückgewinnung wiederverwendbarer, funktionstüchtiger Bauteile und Baugruppen erfolgt, sowie die sortenreine Trennung und Separierung von Schadstoffen und wertvollen Werkstoffen zur

stofflichen Verwertung möglich ist. Damit leistet die Demontage einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft [45, S. S 96].

Der Demontageprozess besteht aus einer Kombination zerstörungsfreier und zerstörender Trennverfahren, bei denen nur ausgewählte, wirtschaftlich nutzbare und/oder toxische Werkstoffe, Bauteile und Baugruppen eines Produktes demontiert werden. Die verbleibenden Materialien werden verfahrenstechnisch weiterbehandelt. Erschwerend auf die Prozessbedingungen wirken sich die Produkt- und Variantenvielfalt, nutzungsbedingter Verschleiß und die Gebrauchverfremdung der zu demontierenden Objekte aus [45, S. S96].

### 3.3.1 Demontagekonzept

Grundlage für eine qualitativ und quantitativ erfolgreiche Demontage ist ein gutes Demontagekonzept. Es sind je nach Demontagetiefe und Automatisierungsgrad unterschiedliche technische Einrichtungen im Einsatz bzw. in Planung (wie aus Tabelle 3.2 ersichtlich ist). Ausschlaggebend für die technische Ausstattung ist die Größe des Verwertungsbetriebes, aber auch das verfolgte Demontagekonzept [43, S. 28f]. Anzumerken ist, dass sich trotz vorliegender (teil-)automatisierter Demontagekonzepte in der Praxis die manuelle Demontage durchgesetzt hat, da sich eine Automatisierung der Demontage bei der hohen Vielfalt und Verschiedenheit der einzelnen Altfahrzeuge (je nach Marke und Alter, in Abhängigkeit von der Werkstoffzusammensetzung und Produktgestaltung) nicht durchführen lässt. Man stößt hierbei auf technische und kostenbezogene Grenzen [46].

Tabelle 3.2: Demontagekonzepte [43, S. 28]

Technische Einrichtung	Bemerkung, Status
Trockenlegungseinrichtung	Stationäre Trockenlegungsstelle, <i>Standard</i> Mobile Trockenlegung; <i>realisiert</i>
Inseldemontage	Hebebühne und einfache Fördertechnik (Hebebühne, Kran), <i>Standard</i>
	Demontageinsel mit Förderperipherie (Transportfahrzeug, Transportband, Deckenkran); <i>Konzept</i>
Hintereinandergeschaltete Demontageplätze	Hebebühne und einfache Fördertechnik (Transportwagen und Deckenkran); <i>realisiert</i>
	Verschiedene Transporteinrichtungen und Manipulatoren (Motorreißer und Wendeeinrichtungen); <i>Konzept, im Aufbau</i>
Mechanisierte Demontagestrasse	Verschiedene Transporteinrichtungen (Transportschlitten, Förderbänder) und Manipulatoren (Motorreißer und Wendeeinrichtungen); <i>realisiert</i>
Teilautomatisierte Demontagestrasse	Umfangreiche Fördertechnik und Demontageroboter; <i>Versuchsstadium</i>

Ein fortschrittliches Demontagekonzept für Altfahrzeuge (AFZ), wie es bis dato jedoch in voller Ausführung (noch) nicht wirtschaftlich ist, umfasst folgende Bereiche [35, Kapitel 4, S. 3-4], [36, S. 10ff], [47] , [6]:

### **1) Diagnose/Pyrotechnik/Batterie**

Bei Anlieferung des AFZ erfolgt eine Diagnose auf wiederverwendbare Teile. Der erste wichtige Schritt ist die Auslösung oder der Ausbau der Airbags und anderer pyrotechnischer Treibsätze (Gurtstraffer etc.), um die Explosionsgefahr bei den folgenden Demontageschritten auszuschließen (Arbeitnehmerschutz). Weiters erfolgt die Entnahme der Batterie sowie die Entfernung von Abfällen und Druckbehältern (Feuerlöscher).

### **2) Trockenlegung**

Betriebsmittel und -flüssigkeiten, wie Kraftstoff (Benzin, Diesel) und Motor-, Getriebe-, Differentialöl, Hydrauliköl, Brems- und Kühlflüssigkeit, Kältemittel für Klimaanlage, Scheibenwaschwasser und sonstige Ölquellen (Stoßdämpferöl, Ölfilter) werden entnommen. Die Trockenlegungsanlage umfasst eine Hebebühne, schwenkbare/höhenverstellbare Bohraggregate, Saugschläuche und Auffangtrichter, Absauggeräte und erforderliche Tanks zur Aufnahme der entnommenen Betriebsflüssigkeiten.

### **3) Aggregateausbau**

Über eine Hebebühne (bzw. eine hydraulische Hub-Kipp-Bühne – ähnlich einem Gabelstapler) erfolgt die Entnahme von Motor, Getriebe, Achsen und allen von unten demontierbaren Bauteile (wie die Reifen und Räder, Alufelgen, Stahlfelgen, Wuchtgewichte, Zierkappen aus Kunststoff, Stoßfänger, Luftfilter, Katalysator, Starter, Kühler), die in weiterer Folge gelagert, wiederverwendet und -verwertet oder weiter zerlegt werden.

Falls der Motor-Getriebe-Block nicht aufbereitet und wiederverwendet werden soll, wird er oben mit einem sogenannten „Motorreißer“ entfernt. Der Motorreißer ist eine hydraulische Greifzange, die während dieser zerstörenden Motoren-Demontage mit Gegenhaltern an den Kotflügeln des Altfahrzeuges abgestützt wird.

### **4) Verkleidungen/Glas/Kabelstrang**

An der Karosse verbliebene Bauteile und Stoffe werden in Abhängigkeit von ihrem wirtschaftlichen Wert demontiert. Dabei werden Scheiben herausgeschnitten, Verkleidungen und Teppiche entfernt und die Kabelstränge werden herausgerissen (hoher Kupfergehalt). Im Idealfall bleibt nur noch der Rahmenbau aus Metall übrig (Komplettdemontage). Die Arbeitsschritte erfolgen manuell.

### **5) Komponentendemontage (optional)**

Hier erfolgt eine Zerlegung nicht wiederverwendbarer Bauteile. Zum Beispiel werden Motoren und Fahrwerk (Getriebe und Achsen) sowie Türen und andern Karosseriebauteile in ihre Einzelteile weiterzerlegt.. Auch eine Inneneinrichtungsdemontage - Zerlegung von elektrischen Bauteilen, Sitzen, Armaturenbrett etc. – erfolgt hier. Ziel der Komponentendemontage ist, sortenreine Materialfraktionen zu erhalten.

## 6) Lagerung

Schließlich erfolgt die Aufbewahrung und Wäsche mit nachfolgender Trocknung der wiederverwendbaren und wiederverwertbaren Bestandteile aus der Demontage.

## 7) Presse

Der nicht wirtschaftlich demontierbare Rest nach der Demontage wird für den Transport in einer Karosseriepresse komprimiert, um Frachtraum zu sparen. Die Presse arbeitet hydraulisch und besteht aus Pressbalken, verfahrbarem Presswagen und Schienen.

Im Idealfall (Komplettdemontage) kann das sortenreine und verpresste Gut (Stahlembalagen, Alu-Embalagen, etc.) direkt an Stahlwerke oder Nichteisenhüttenwerke verkauft werden. Vermischtes Pressgut geht an Shredderbetriebe.

### 3.3.2 Wirtschaftlichkeit

Je nach Demontagetiefe, d.h. bis zu welchem Grad an Zerlegung in die Einzelteile die Demontage erfolgt, steigt auch der finanzielle Aufwand (Mannstunden des Demonteurs, anzuschaffende Werkzeuge, verfolgte Trennschärfe, ...). Daher ist es wichtig, die Tiefe der Demontage optimal zu wählen. Bestimmt wird diese durch die Differenz von Wertschöpfung und Demontagekosten, wie Abbildung 3.10 verdeutlicht. Des weiteren müssen die Entsorgungskosten des Altfahrzeugs bzw. der Bauteile berücksichtigt werden, die wiederum kombiniert mit den Demontagekosten eine Aussage über die optimale Demontagetiefe – bei geringsten Kosten – zulässt. Bei der Optimierung der Demontagetiefe, und damit der Wirtschaftlichkeit, spielt die recyclingoptimierte Produktentwicklung eine erhebliche Rolle, auf die in Kapitel 4 dieser Arbeit näher eingegangen wird. Eine demontagerechte Konstruktion erleichtert den Demontageprozess erheblich [45, S. S 96].

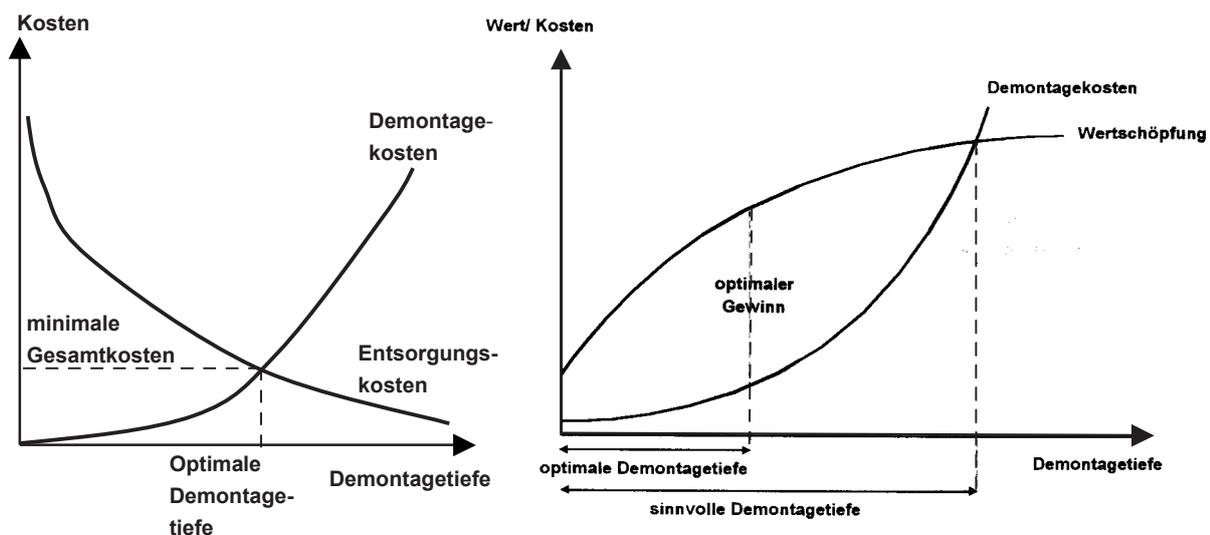


Abbildung 3.10: Ermittlung einer wirtschaftlich sinnvollen Demontagetiefe [26, S. 54], [7, S.127]

## 4 Recyclinggerechte Produktentwicklung

Die recyclinggerechte Produktentwicklung kann man mit folgendem Spannungsdreieck zwischen recyclinggerechter Bauteilgestaltung, Werkstoffwahl und der Wiederverwendung von Werkstoffen, wie in Abbildung 4.1 dargestellt, beschreiben.



Abbildung 4.1: Recyclingdreieck [41, S. 33]

Der Zusammenhang zwischen Bauteilgestaltung und Werkstoffauswahl reicht von Einwerkstoffsystemen bis zum Einsatz rezyklierbarer Werkstoffe in Bauteilen. Werkstoffauswahl und Wiederverwendung von Werkstoffen sind über die Materialkreisläufe und stufenweises Recycling, d.h. immer mehr Werkstoffe als Rezyklat im Automobilbau einzusetzen, in Zusammenhang zu bringen. Die Verbindung zwischen Rezyklateinsatz und Bauteilgestaltung besteht darin, den Bauteil so zu gestalten, dass ein Werkstoff leicht demontierbar ist. Aus sortenrein demontierten Materialien von Altfahrzeugen können wieder neue Rezyklatwerkstoffe hergestellt und im neuen Automobil eingesetzt werden.

### 4.1 Produktentwicklungsprozess

Die Verbesserung der Recyclingfähigkeit ist eine Primärmaßnahme, die vor dem Start des Produktlebenszykluses, also im Produktentwicklungsprozess (PEP), erfolgt. Dieser wird in die drei Phasen „Strategieentwicklung“, „Vorentwicklung“ und „Serienentwicklung“ untergliedert [11, S. 3-4].

In der „Strategieentwicklung“ werden technische, wirtschaftliche und recyclingbezogene Forderungen definiert. Den Abschluss bildet ein Maßnahmenkatalog, in dem alle Zielwerte des Bauteils (Fahrzeugs) zusammengeführt werden. Damit wird die Entscheidung (Wirtschaftlichkeit, Marktanalyse) getroffen, ob man in die Vorentwicklung gehen kann.

Die „Vorentwicklung“ umfasst eine Entwicklung verschiedener Bauteil- und Fahrzeugkonzepte und deren Bewertung. Abschließend wird ausgewählt, welches Konzept

weiter verfolgt werden soll. Eine Unterstützung der recyclingoptimierten Produktentwicklung bilden Recyclingnormen und Demontageanalysen.

Die Recyclingnormen sind für Konstrukteure verbindlich und Bestandteil der Lastenhefte. Die Vorgaben zur Recyclingfähigkeit finden sich beim Zukauf von Bauteilen in den Verträgen (welche die Lastenhefte beinhalten) mit Zulieferunternehmen wieder [36, S. 10ff].

Zu Beginn der „Serienentwicklung“ erfolgt die Fertigung von Prototypen. Diese werden weiterentwickelt zum Vorserienmodell und schließlich zum Serienmodell. Je weiter die Serienentwicklung fortgeschritten ist, desto weniger kann man (technisch und wirtschaftlich) zuvor schlecht definierte Recyclinganforderungen umsetzen.

Abbildung 4.2 gibt die Integration der Recyclingaspekte in den einzelnen Phasen des Produktentwicklungsprozesses wieder.

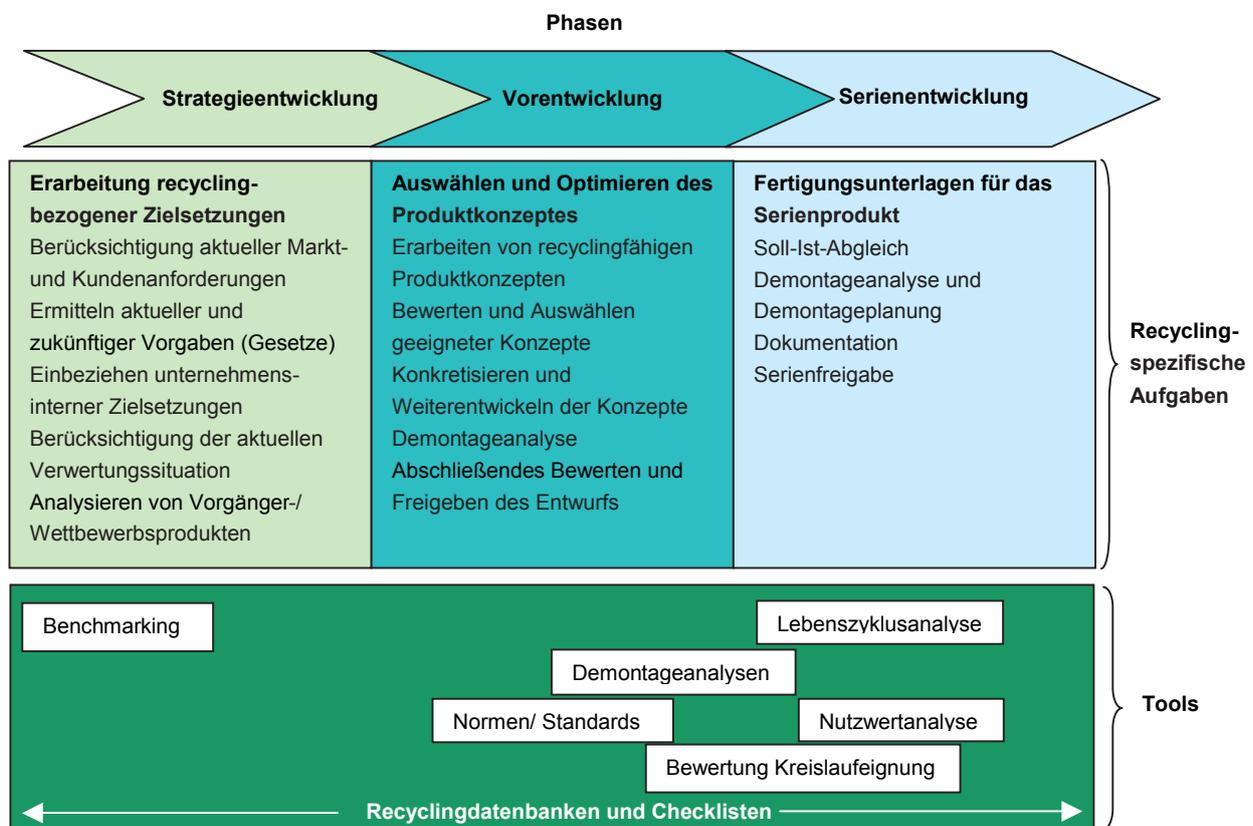


Abbildung 4.2: Recyclingaspekte im Produktentwicklungsprozess [11, S. 4]

## 4.2 Maßnahmen zur recyclingoptimierten Konstruktion

Hauptziel der recyclingoptimierten Konstruktion ist, dass eine Demontage von Teilen und die Trennung von Materialien möglichst einfach, schnell und somit wirtschaftlich erfolgen kann. So können Verwertungsbetriebe in möglichst kurzer Zeit eine große Menge an sortenreinen Materialien zurückzugewinnen. Diese Bemühungen sind jedoch begrenzt, wenn es zur Berührung mit anderen ökologischen Anforderungen kommt. Ein Beispiel hierfür ist die

Minimierung des Fahrzeuggewichtes (Leichtbauweise), um den Kraftstoffverbrauch und somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken (was grundsätzlich mit den Recyclingquoten im Konflikt steht). Es gilt, eine Vielzahl von Zielkonflikten – wie in Tabelle 4.1 dargestellt – mit allen Beteiligten am Entwicklungsprozess erfolgreich zu lösen [36, S. 10f].

Tabelle 4.1: Zielkonflikte zwischen Anforderungsbereichen im Automobilbau, nach [43, S. 33]

Auswirkung Einfluss	Lärm- reduzierung	Abgas- reduzierung	Leichtbau	Verbrauchs- reduzierung	Recycling	Sicherheit	Komfort	Wirtschaft- lichkeit
Lärmreduzierung		O	O	O	O	O	+	-
Abgasreduzierung	O		+	+	-	-	-	-
Leichtbau	O	+		+	-	-	-	-
Verbrauchsreduktion	O	+	+		-	O	-	+
Recycling	O	-	-	-		O	-	-
Sicherheit	O	O	-	-	O		O	-
Komfort	+	-	-	-	-	O		-
Wirtschaftlichkeit	-	-	-	+	-	-	-	

Legende: O ... keine signifikante, direkte Abhängigkeit, - ... negativer Einfluss (Zielkonflikt), + ... positiver Einfluss (verstärkend)

## 4.2.1 Recycling-Kriterien

Bei der Umsetzung der Produkthanforderungen im Produktentwicklungsprozess erfolgt eine qualitative und quantitative Überprüfung und Bewertung der (recyclinggerechten) Konstruktion. Technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte sind dabei zu berücksichtigen [11, S. 6f].

### 4.2.1.1 Umfeld

Dieses Recycling-Kriterium umfasst Politik (Gesetze, Verordnungen), das Unternehmen selbst (Philosophie, Strategie, Umweltleitlinien und Marktposition). Den Markt (Wettbewerb) und die Gesellschaft (Umweltbewusstsein, Mode).

### 4.2.1.2 Technologie

Hier fließen Materialeigenschaften (Kennzeichnung, Verwertbarkeit, Toxizität, recyclingkritische Stoffe), die Demontierbarkeit (visuelle Erkennbarkeit, Zugänglichkeit, Lösbarkeit, Verbindungsvielfalt, Demontage- und Zerlegezeit) und Recyclingtechnologien (Verfügbarkeit wirtschaftlich optimierter Prozesse) ein.

### 4.2.1.3 Ökologie

Der Betrachtungsschwerpunkt liegt auf dem Rohstoffverbrauch, den Emissionen (fest, flüssig, gasförmig), Energieaufwand und Ökobilanzen.

#### 4.2.1.4 Ökonomie

Ein kritischer Punkt im Recycling ist die Wirtschaftlichkeit. Verglichen werden hierbei die Kosten für das Recycling und die Beseitigung. Die Kennzahl Kreislaufeignung (KE) wurde hierfür zur Beurteilung entwickelt und in der VDI 2243 festgehalten. Die Basis für deren Berechnung ist das Verhältnis aus Summe der Kosten die bei der Beseitigung des Bauteils entstehen und den Kosten für „Neuware“, die qualitativ den Eigenschaften des durch Recycling gewonnenen Sekundärmaterials (Rezyklats) entspricht zu den Kosten des Bauteils, wenn es stofflich verwertet wird (Demontage, Aufbereitung und Logistik). Die Kreislaufeignung ist dann erfüllt, d.h. stofflich wirtschaftlich verwertbar, wenn  $KE > 1$  ist. Dann ist der Nenner kleiner als der Zähler, also die stoffliche Verwertung billiger als der Kauf neuen Materials plus Beseitigung.

Die Gleichung für die Kreislaufeignung lautet folgendermaßen:

$$KE = \frac{\text{Neuwarekosten} + \text{Beseitigungskosten}}{\text{Kosten (Demontage + Aufbereitung + Logistik)}} \left[ \frac{\text{€}/\text{kg}}{\text{€}/\text{kg}} \right]$$

#### 4.2.2 Recyclingquoten

Zur Kalkulation der Recycling- und Wiederverwertbarkeit von Kraftfahrzeugen wurde von der ISO in Übereinstimmung mit der Richtlinie über Altfahrzeuge eine eigene Norm namens „ISO 22628 (2002) – Road Vehicles – Recyclability and recoverability – Calculation method“ [10] herausgegeben. Der Unterschied zwischen Wiederverwertbarkeit und Recyclingfähigkeit liegt hierin, dass das Recycling nur die stoffliche Verwertbarkeit (inkl. Wiederverwendung) beinhaltet, die Wiederverwertbarkeit zusätzlich auch die energetische/thermische Nutzung von Altfahrzeugteilen inkludiert.

Die Recyclingquote berechnet sich nach  $R_{cyc} = \frac{m_P + m_D + m_M + m_{Tr}}{m_V} * 100$

Die Wiederverwertbarkeitsquote berechnet sich nach  $R_{cov} = \frac{m_P + m_D + m_M + m_{Tr} + m_{Te}}{m_V} * 100$

$m_P$	Masse in der Vorbehandlung (Pretreatment) entfernter Teile
$m_D$	Masse bei der Demontage entfernter, wiederverwendbarer oder stofflich rezyklierbarer Teile
$m_M$	Masse, nach Vorbehandlung und Demontage verbliebener Metalle
$m_{Tr}$	Masse nichtmetallischer Teile, die nach heutigen Verfahren rezyklierfähig sind
$m_{Te}$	Masse der schlussendlich verbliebenen Teile, die energetisch verwertbar sind
$m_V$	Gesamtfahrzeuggewicht nach ISO 1176, siehe Kapitel 2.1

### 4.2.3 Produktgestaltung

Es gibt drei wesentliche Recyclingaspekte, die sogenannten „drei konstruktiven Säulen“, nämlich Baustruktur, Werkstoffe und Verbindungen. Wie diese den unterschiedlichen Produktdetaillierungsebenen zugeordnet sind, verdeutlicht Tabelle 4.2.

Tabelle 4.2: Konstruktionsaspekte im Recycling nach Produktdetaillierungsgrad [11, S. 8]

	Baustruktur	Verbindungen	Werkstoffe
	Recyclingkonzept	Lösbarkeit	Recyclingfähigkeit
	Modularer Aufbau	Verbindungsart und -vielfalt	Verwertungs-Kompatibilität
	Zugänglichkeit	Demontagetiefe, -zeit	Materialvielfalt
	Separierbarkeit	Demontagezeit	Materialauswahl und -verträglichkeit

Folgende Einzelmaßnahmen sind im Rahmen der Produktgestaltung zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von großer Bedeutung [36, S. 12ff] , [11, S. 9ff]:

#### 1) Optimierung der Baustruktur und Demontage

- Funktional modularen Aufbau vorsehen, d.h. Bauteile als zusammenhängende Module zu konstruieren  
Vorteil: Einfache Demontage, geringere Demontagekosten
- Horizontale Strukturen bevorzugen, wie Abbildung 4.3 exemplarisch verdeutlicht  
Vorteil: Einfache Demontage, weil gleichzeitiges Demontieren in einer Demontageebene möglich ist (vertikale Strukturen fordern eine Vordemontage, um im Demontagegraph tiefer liegende Baugruppen zu demontieren)

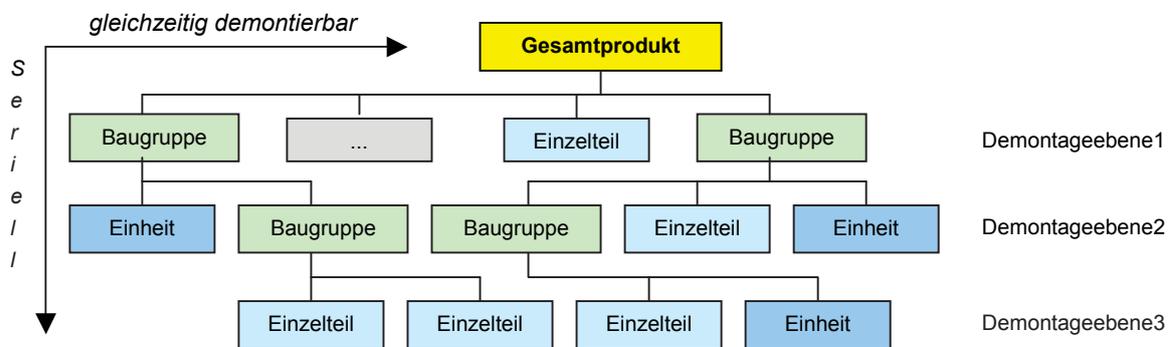


Abbildung 4.3: Horizontale/vertikale Strukturen im Demontagegraph [48, S. 3]

- Kreislaufgeeignete Komponenten und Materialien zugänglich und leicht demontierbar anordnen  
Vorteil: Erleichtert die zerstörungsfreie Demontage. Defekte Teile sind leichter austauschbar (Servicefreundlichkeit)
- Einfache Entfernung von Betriebsstoffen gewährleisten, ausführen und leicht zugänglich machen. Kabelbäume und elektrische Netze leicht demontierbar gestalten und anordnen  
Vorteil: Vermeidung von Umweltbelastungen; einfache Demontage, geringere Demontagekosten
- Elektrische und elektronische Komponenten/ Baugruppen leicht zugänglich/ demontierbar und möglichst in der obersten Demontageebene anordnen  
Vorteil: Schneller Zugriff zu den recyclingkritischen Stoffen (z.B. flammgeschützte Platinen in Flachbaugruppen) und Wertstoffen (z.B. edelmetallhaltige Elektronikbauteile, kupferreiche Komponenten wie Trafos, Motore, Kabel)
- Einheitliche Demontagerichtungen vorzugsweise axial in Demontagerichtung vorsehen  
Vorteil: Einfacher Demontagezugriff bedeutet geringere Kosten
- Einsatz von Demontage-Standardwerkzeugen vorsehen und Zugänglichkeit gewährleisten  
Vorteil: Vermeidet kostenintensive Spezialwerkzeuge und reduziert die Demontagekosten
- Befestigungselemente für elektromechanische Komponenten auch ohne vorhandene Stromversorgung zugänglich gestalten (z.B. elektrisch verstellbare Autositze)  
Vorteil: Keine zusätzliche Demontageposition nötig, die nur durch vorher angelegte Stromversorgung erreichbar ist, geringere Demontagekosten

## 2) Recyclingfreundliche Materialien und Oberflächen

- Vermeidung recyclingkritischer Substanzen, Schad- und Gefahrstoffen (z.B. Halogene, Cadmium, Quecksilber, usw.)  
Vorteil: Vermeidet die kostenintensive Beseitigung und entlastet die Umwelt
- Oberflächenschichten (z.B. CrVI) möglichst verwertungskompatibel mit Trägermaterial bzw. Substrat auslegen  
Vorteil: Einfachere kostengünstigere Verwertung, Vermeidung von erhöhten Störstoffanteilen (die entstehenden Verbundstoffe durch dicke Schichten galvanischer/chemischer Oberflächen erfordern kostenintensive Prozessschritte zur Gewinnung der verwertbaren Fraktionen)
- Einsatz recyclingfreundlicher Lacke und Beschichtungen  
Vorteil: Geringere Umweltbelastung durch Wasserlacke und Pulverbeschichtungen

- Einsatz halogenfreier Leiterplatten anstreben  
Vorteil: Vermeidet die kostenintensive Beseitigung und entlastet die Umwelt

### 3) Vereinfachung der Trockenlegung

- Betriebsflüssigkeiten müssen unabhängig voneinander einfach, schnell und vollständig entfernbar sein  
Vorteil: Keine Umweltbelastung durch unkontrollierte Flüssigkeiten in nachfolgenden Recyclingprozessen
- Ablassmöglichkeiten vorsehen und deren gute Erkennbarkeit und Zugänglichkeit gewährleisten  
Vorteil: Gezielte und schnelle Entnahme bedeutet geringere Kosten
- Wenn keine Ablassmöglichkeit gegeben ist, Markierung für zerstörenden Eingriff in flüssigkeitstragendes Bauteil vorsehen  
Nachteil: Wegen zerstörender Entnahme keine vollständige Separierung gewährleistet, längere Entnahmezeit bedeutet höhere Kosten

### 4) Reduktion der Materialvielfalt

- Reduzierung der Materialvielfalt und werkstoffliche Vereinheitlichung in Modulen/Baugruppen  
Vorteil: kostengünstigeres Stoffrecycling durch größere Mengen einzelner Stoffgruppen

### 5) Einsatz verwertungskompatibler Materialien

- Einsatz stofflich wirtschaftlich wiederverwertbarer Werkstoffe  
Vorteil: Schont die Ressourcen, reduziert die Störstoffe, vermeidet die Beseitigung und entlastet die Umwelt
- Einsatz verwertungskompatibler Werkstoffe in Modulen/Baugruppen insbesondere bei Materialverbunden  
Vorteil: Verträgliche Stoffe ermöglichen ohne Separierung eine kostengünstige stoffliche Verwertung

### 6) Materialkennzeichnung

- Kennzeichnung von Materialien nach einschlägigen Normen und Regelwerken  
Vorteil: Einfache Zuordnung in Fraktionen möglich, Vermeidung aufwendiger nachgeschalteter Prozessschritte

### 7) Recyclingoptimierte Verbindungstechnik

- Anzahl und Vielfalt der Verbindungselemente minimieren  
Vorteil: Senkung der Demontagezeit bedeutet geringere Kosten
- Verbindungselemente vereinheitlichen  
Vorteil: Kein Werkzeugwechsel bei De- und Remontage, reduzierte De- und Remontagezeit bedeutet geringere Kosten
- Zerstörungsfrei ausgelegte Verbindungen leicht lösbar, erkennbar und zugänglich gestalten  
Vorteil : Erleichtert die Gewinnung von Zielbauteilen (z.B. Ersatzteilen)
- Schnappverbindungen wenn möglich Schraubverbindungen vorziehen  
Vorteil: Schnelle Demontage bedeutet geringere Kosten  
Nachteil: Wenn Schnappverbindungen nicht erkennbar sind, ist nur zerstörende Demontage möglich.
- Unlösbare Verbindungsarten wie z.B. Schweißen, Nieten, Kleben minimieren und möglichst nur bei verwertungskompatiblen Materialien verwenden  
Vorteil: Reduziert die Trenn- und Separierprozesse zur Materialrückgewinnung, geringere Prozesskosten
- Bei Flachbaugruppen außenliegende Schnappverbindungen einsetzen und Schraubverbindungen vermeiden  
Vorteil: Schnellere zerstörungsfreie Entnahme, Vermeidung von Bruchrückständen flammgeschützten Platinenmaterials im Restgerät

Die folgende Matrix (Tabelle 4.3) zeigt, in welchem Ausmaß unterschiedliche Verbindungstechniken demontagefreundlich sind.

Tabelle 4.3: Verbindungselemente und Demontierbarkeit [6, S. 28], [49, S.21], [50, S. 132]

Prinzip Verhalten	Stoffschluss		Kraftschluss				Formschluss		
	Kleben	Schweißen	Klett- Verschluss	Schraube/ Mutter	Feder- Verschluss	Schnapp- verbindung	Spann- Verschl.	¼-dreh- Verschluss	Band & Schloss
Zugfestigkeit	~	+	~	+	~	+	+	-	+
Scherfestigkeit	~	-	-	~	~	~	-	+	-
Wechselfestigkeit	-	-	-	-	~	-	~	~	+
Fügearaufwand	~	-	-	+	~	-	~	~	~
Löseaufwand	~	-	-	+	~	-	~	~	~
Zerstörungsauf	+	+	+	+	+	+	-	-	+
Demontage	-	-	+	+	+	~	+	+	~
Grobe	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Maschinelle Zerkleinerung	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Recycling- beurteilung	~	-	+	~	+	+	+	+	~

Bewertung: + gut ~mittel -schlecht

## 8) Rezyklateinsatz in Neufahrzeugen

- Bei Kunststoffteilen Rezyklateinsatz vorsehen und Vermeidung fester metallischer Inserts  
Vorteil: Rezyklateinsatz schont die Ressourcen; ohne feste metallische Inserts ist eine kostengünstige stoffliche Verwertung möglich. Beschädigungen der Messer in Schneidmühlen wird vermieden (Kosten)

## 4.3 Vergleich der derzeitigen Herstellerstandards

Grundsätzlich haben die großen deutschen Hersteller übereinstimmende Richtlinien und Normen zur recyclingoptimierten Produktentwicklung erstellt. Audi, BMW, Mercedes-Benz, Porsche und VW haben gemeinsam auf Basis der VDA 2243 die Werksnorm „Recyclingoptimierte Fahrzeugkonstruktion“ [51], [52] erarbeitet.

Die folgende Tabelle 4.4 beinhaltet einen Auszug der Herstellernormen, die in dieser Diplomarbeit verglichen worden sind.

Tabelle 4.4: Herstellerstandards für das Fahrzeugrecycling

Nummer	Titel
	<b>General Motors</b>
GMW 3116	Recyclability/ Recoverability Design Guide
GMW 3059	Restricted and Reportable Substances for Parts
GMW 3034	Abwesenheit von sechswertigem Chrom (Chrom VI) in Beschichtungen
GM 1738	Packaging
STD 3377	Saab – Restricted and reportable chemicals
	<b>Daimler Chrysler</b>
MBN 10183	Recyclingoptimierte Fahrzeugkonstruktion
CS 9300	Environmental, health and occupational safety Requirements for regulated substances or processes and product recycling reporting requirements
V 059 00 07	Recyclinggerechte Entwicklung von MB-Produkten
MBN 33035	Kennzeichnung der Werkstoffe
DBL 8585	Liefervorschrift Stoffnegativliste für die Werkstoffauswahl
	<b>Volkswagen AG</b>
VW 911 02 (und Beiblätter 1- 5)	Umweltnormen Fahrzeug, Fahrzeugteile, Werkstoffe, Betriebsstoffe: Rezyklierbarkeit
VW 911 01	Schadstoffvermeidung (+Umwelt-Stoffliste)
VW 011 55	Fahrzeug Zulieferteile
VW 911 03	Kennzeichnung durch VDA260 ersetzt!
	<b>BMW</b>
BMW N 113 99.0	Recyclingoptimierte Fahrzeugkonstruktion
BMW N 113 10.0	Kennzeichnung von Bauteilen aus polymeren Werkstoffen
BMW N 113 89.0 T1	Gefährliche Stoffe, Verbotene und deklarationspflichtige Stoffe in Werkstoffen und Bauteilen
BMW N 113 89.0 T3	Gefährliche Stoffe, Verbotene Stoffe in Werkstoffen und Bauteilen
BMW N 113 89.0 T2	Gefährliche Stoffe, Verbotene und deklarationspflichtige Stoffe in Prozessmaterialien und Hilfsstoffen
CS 91 003	Teilekennzeichnung – Kennzeichnung der Werkstoffe

Anlage 5 im Recycling Handbuch	Umweltverträglichkeit von BMW Group Produkten - Einkaufsbedingungen der BMW Group
GS 91 001	Teilekennzeichnung mit Markenzeichen und Teile-Identdaten
GS 90010 (+Beiblatt)	Oberflächenschutzarten für met. Werkstoffe
GS 93008 – 1 bis 3	Ersatz für BMW N 113 89.0 T1 bis T3 (Juli 2002)
	<b>Volvo</b>
STD 1009,1	Black List - Chemical substances which must not be used within the Volvo Group
STD 1009,11	Grey List - Chemical substances whose use within the Volvo Group shall be limited
STD 1009,2	White List - Substitutes for hazardous chemical substances
	Environmental Requirements for Volvo Group Suppliers and Contractors
PQP 7	Environmental care

Der Zweck und Anwendungsbereich dieser Werksnormen ist, wie der Titel schon sagt, auf recyclingrelevante Aspekte hinsichtlich der Konstruktion von Fahrzeugen und Bauteilen ausgerichtet. Im Speziellen auf die recyclingoptimierte Konstruktion und Entwicklung von Fahrzeugen und Bauteilen, Einsatz von Neu- und Sekundärmaterialien und Entnahme von Betriebsstoffen. Die Norm dient der Reduzierung umweltbelastender Stoffe (Abfälle) und dem sparsamen Einsatz und effizienter Nutzung von Ressourcen (Rohstoffe und Energie). Dies hat unter Berücksichtigung ökologisch-ökonomischer Gesamtzusammenhänge, z.B. des Leichtbaus, im Sinne der Nachhaltigkeit zu erfolgen [51], [52]. Die Inhalte und Unterschiede bzw. Übereinstimmungen der verschiedenen Herstellernormen sind in der Tabelle 4.5 zusammengefasst.

Tabelle 4.5: Inhalt der Herstellernormen

Hersteller	Hersteller					
	Audi	BMW	Mercedes-Benz	Porsche	VW, Seat, Skoda	General Motors
Begriffsbestimmungen mit Beispielen	X	X	X	X	X	X
<b>Bewertung</b>	X	X	X	X	X	X
Kreislaufeignung	X	X	X	X	X	O
Recyclingklassen	X	X	X	X	X	X
Demontageklassen	O	O	O	O	O	X
Berechnungsschema zur Bewertung	X	X	X	X	X	X
Ökonomische Bewertung	X	X	X	X	X	X
<b>Dokumentation</b>	X	X	X	X	X	X
Ablaufplan der Fahrzeugverwertung	X	X	X	X	X	O
Verwertungswege	X	X	X	X	X	O
<b>Recyclingoptimierte Bauteilgestaltung</b>	X	X	X	X	X	X
Produktionsrecycling	X	X	X	X	X	O
Fahrzeugrecycling	X	X	X	X	X	X
Betriebsstoffentnahme	X	X	X	X	X	X
Bauteil-Wiederverwertung und Demontage	X	X	X	X	X	X
Verbindungstechnik	X	X	X	X	X	X
<b>Werkstoffauswahl</b>	X	X	X	X	X	X
Verbotene Stoffe	X	X	X	X	X	X
Sekundärwerkstoffeinsatz	X	X	X	X	X	X
Kennzeichnung	X	X	X	X	X	X
Verwertungskompatibilität	X	X	X	X	X	X

X... in der Norm/Richtlinie des jeweiligen Herstellers beschrieben, O... nicht in der Norm/Richtlinie des jeweiligen Herstellers angeführt

### 4.3.1 Gestaltungshinweise

Für diesen Bereich hat die VW AG die Norm VW 91102 - Beiblatt 2 erstellt, in der eine Checkliste die praktischen Ergebnisse von Demontage, Verbindungstechnik etc. als Anweisungen zur recyclingfreundlichen Fahrzeugkonstruktion formuliert. Im Beiblatt 1 dieser Norm finden sich die Hinweise, welche Bauteil(-gruppen) vorzugsweise zu demontieren sind [42].

Auch BMW gibt konkrete, in Listen eingetragene Hinweise, wie Bauteile demontage- und recyclingfreundlich zu gestalten sind, und wo Verbesserungen zu erfolgen haben. Diese Erkenntnisse hat BMW aus der Demontage von Altfahrzeugen in ihrem eigenen Recycling-Demontagezentrum in Lohhof, in der Nähe des Entwicklungszentrums in München, gewonnen [44, S. 257].

### 4.3.2 Bewertung

#### 4.3.2.1 Recyclingklassen

Das Konzept der deutschen Automobilhersteller, nach den Kriterien Kreislaufeignung, Vorhandensein von verbotenen Stoffen und der Einsatzfähigkeit als Sekundärwerkstoff, sogenannte „Recyclingklassen“ [51, S. 3] für die einzelnen Bauteile des Gesamtfahrzeuges einzuführen, nach denen in Summe dann die Recyclingquote des Gesamtfahrzeuges berechnet werden kann, sieht die Einteilung in Tabelle 4.6 vor.

Tabelle 4.6: Bewertungsmatrix zur Recyclingklassenbestimmung [51, S. 3]

Recyclingklasse	Kriterien		
	Kreislaufeignung	Verbotene Stoffe <sup>1)</sup>	Sekundärwerkstoffeinsatz
<b>R1</b>	KE > 1	nicht vorhanden	möglich
<b>R2</b>	$0,8 \leq KE \leq 1$	nicht vorhanden	nicht möglich
<b>R3</b>	KE < 0,8	vorhanden <sup>2)</sup>	ungeprüft

1) in eigener Norm aufgelistet, 2) nur, wenn gleichwertige unkritische Stoffe bereits Stand der Technik sind

Grundsätzlich sind alle Bauteile zu bewerten. Alle nichtmetallischen Bauteile < 100 Gramm sind mit R3 zu bewerten. Die Möglichkeit des Werkstoffeinsatzes als Sekundärmaterial ist bei Eisenwerkstoffen nicht zu überprüfen. Die Kriterien „Kreislaufeignung“ und „Verbotene Stoffe“ sind Ausschließlichkeitskriterien, d.h. der jeweils schlechtere Wert ergibt die Gesamtbeurteilung der Klasse.

### 4.3.2.2 Checklisten

Unterstützend zum System der Recyclingklassen haben alle Automobilhersteller, die das Thema Recycling im Hinblick auf die EU-RL ausrichten, Checklisten und „Faustregeln“ erstellt, welche (Werk-)Stoffe, Bauteile bzw. Bauteilgruppen recyclingrelevant sind und wie diese grundsätzlich in ihre „Recyclingklassen“ einzustufen sind [53], [54, S. 12f], [42].

### 4.3.3 Berechnung der Recyclingquoten

Laut „Handbuch zur recyclingoptimierten Produktentwicklung“ der BMW Group errechnet sich die Recyclingquote (RQ), die den Werkstoffanteil (in Gew%) von den im Fahrzeug verbauten Materialien, die nach dem Stand der Technik mit marktwirtschaftlich vertretbarem Aufwand wiederverwertbar sind, nach

$$RQ = \frac{M_{R1} + M_{R2}}{M_G} * 100$$

wobei  $M_{R1}$  und  $M_{R2}$  den Materialanteil der in die Recyclingklassen R1 und R2 eingestuft Bauteile,  $M_G$  das Fahrzeug-Leergewicht nach der EU-RL 70/156 bezeichnet (ohne Fahrer, Gepäck und Kraftstoff) [53, Kapitel 2]. Aufgrund des neu erschienenen Standards ISO 22628 (2002) – zur Berechnung der Recyclingquote - wird auch BMW inkl. 90% Tankfüllung rechnen.

SAAB bzw. General Motors (GM) sieht vier Schritte im Behandlungsweg eines Altfahrzeuges vor, nämlich Vorbehandlung (P), Demontage (D1 für leicht demontierbare Bauteile und D2 für schwieriger demontierbare Teile, D3 für nicht demontierbare Bauteile), Metall-Separation (M) und Rückstandsbehandlung (R aus thermischer bzw. energetischer Verwertung). Aus allen vier Schritten ist eine Masse der Bauteile respektive des Gesamtfahrzeuges (V) verwertbar [54, S. 2 u. 6f]. Mit dieser Vorgangsweise lehnt sich die GMW 3116 stark an die ISO 22628 an.

$$\text{Recyclability} = \frac{D1 + D2 + M}{V - P} * 100\% \quad [\text{Gew}\%]$$

$$\text{Recoverability} = \frac{D1 + D2 + M + R}{V - P} * 100\% \quad [\text{Gew}\%]$$

FIAT lehnt sich bei der Kalkulation der Recyclingquoten an die ISO 22628 (2002) an. Alle Ergebnisse über Demontage veröffentlicht FIAT Auto S.P.A. über das internationale Demontage-Informationssystem. Wie die firmeneigene Norm zur Recyclingquotenberechnung tatsächlich aussieht, konnte nicht festgestellt werden, da sich Fiat auf das Betriebsgeheimnis berufen hat [55].

Die Tabelle 4.7 gibt die Unterschiede in den verschiedenen Berechnungsmethoden von ISO, GM/SAAB und BMW der Recycling- und Verwertungsquoten wieder.

Tabelle 4.7: Unterschiede in der Quotenberechnung

	<b>Genauigkeit</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Berechnungs- aufwand</b>	<b>Praxisnähe</b>
<b>ISO</b>	höchste Quoten	nicht Norminhalt	einfach	nein
<b>GM/SAAB</b>	vergleichbar mit ISO	nicht berücksichtigt	einfach	Erfahrungswerte und Wirtschaftlichkeit einzubringen
<b>BMW</b>	niedrigste Quoten	über Kreislaufeignung berücksichtigt	einfach	ja, Checklisten und Erfahrungswerte

Die ISO 22628, als Internationaler Standard zur Berechnung der Recycling- und Verwertungsquoten liefert eine sehr genaue Zuteilung der Bauteile in die jeweiligen Verwertungsfraktionen und ermöglicht sehr genaue Berechnungsergebnisse. Im Vergleich zu BMW und Saab liefert diese Berechnungsmethode die höchsten Recyclingquoten. Die Wirtschaftlichkeit wird nicht in die Berechnung miteinbezogen.

BMW hat sich nicht so stark an die ISO angelehnt, dafür die VDI 2243 miteinbezogen und damit die Kreislaufeignung als Wirtschaftlichkeitskennzahl gewonnen. Über Recyclingklassen erfolgt die Einstufung bezüglich der Verwertungswege jedes Bauteils. Auch die Stoffe aus der Vorbehandlung werden nach Recyclingklassen eingestuft. Insgesamt wird bei BMW wirtschaftlicher gerechnet, als bei Saab oder mit der ISO 22628, die nur eine „technische“ Quotenberechnung - ohne Einfluss der Wirtschaftlichkeit - vorgibt. Dafür sind die berechneten Recyclingquoten im Vergleich zu SAAB's GMW 3116 und ISO 22628 am niedrigsten.

GM/SAAB hat sich mit dem Standard GMW 3116 stark an die ISO 22628 angelehnt. Anders ist jedoch, dass die Masse aus Vorbehandlung vom Gesamtgewicht des Fahrzeuges subtrahiert wird und die dazu in Relation gesetzten Fraktionen aus Demontage und Metallseparation dadurch eine stärkere Gewichtung bekommen – die Recyclingquoten werden also höher als bei BMW. GM/SAAB lässt die Wirtschaftlichkeit nur schwach in die Berechnung einfließen. Es gibt keine Kennzahl vergleichbar mit der Kreislaufeignung.

## 5 Demontage von Türmodulen

Vorausgeschickt sei, dass die Hauptfunktion der Demontage das Fertigungsverfahren Trennen ist. Dieses bewirkt den eigentlichen Prozess des Lösen einer Verbindung zwischen mehreren Teilen. Man kann das Trennen aber nicht mit dem Demontieren gleichsetzen. Demontieren wird zwar immer unter Anwendung von Trennverfahren durchgeführt, schließt jedoch zusätzlich die Nebenfunktionen „Handhaben und Kontrollieren“ sowie „Sonderoperationen“ ein [45, S. S 94]. Die Abbildung 5.1 zeigt die Grundbewegungen in der Demontage.

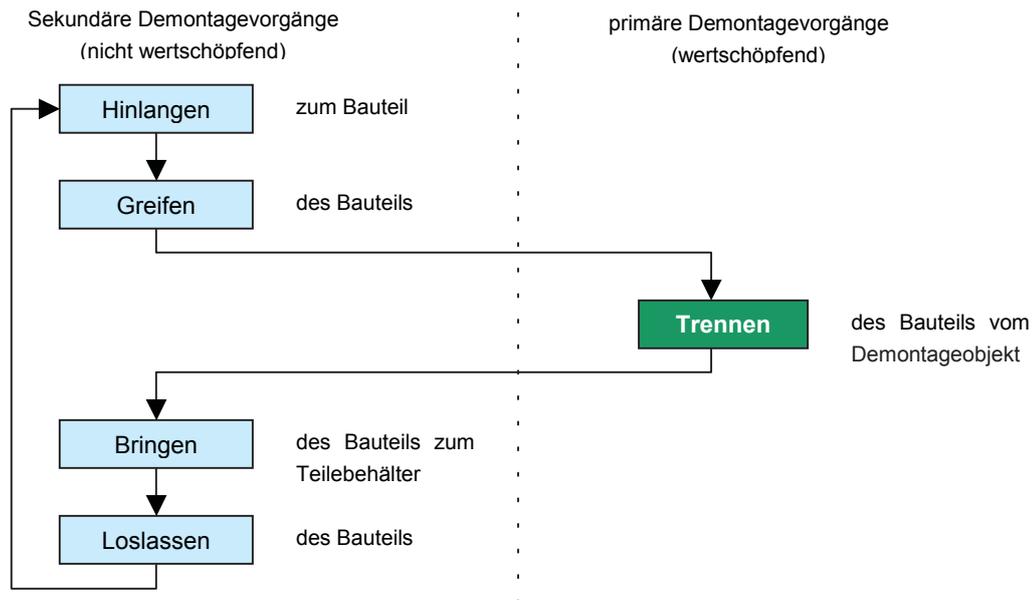


Abbildung 5.1: Typische Bewegungsfolge in der Demontage [48, S. 6]

Das Fertigungsverfahren „Trennen“, auf Basis dessen der Demontageversuch durchzuführen ist, wird in der DIN 8580 [56, S. 44 u. 183] beschrieben. Das Trennen unterteilt sich weiter in Untergruppen (siehe Abbildung 5.2). Im Besonderen ist beim Demontageversuch dem „Zerteilen“ und „Zerlegen“ Augenmerk zu schenken, da hierin die wichtigsten Demontagehandlungen definiert sind.

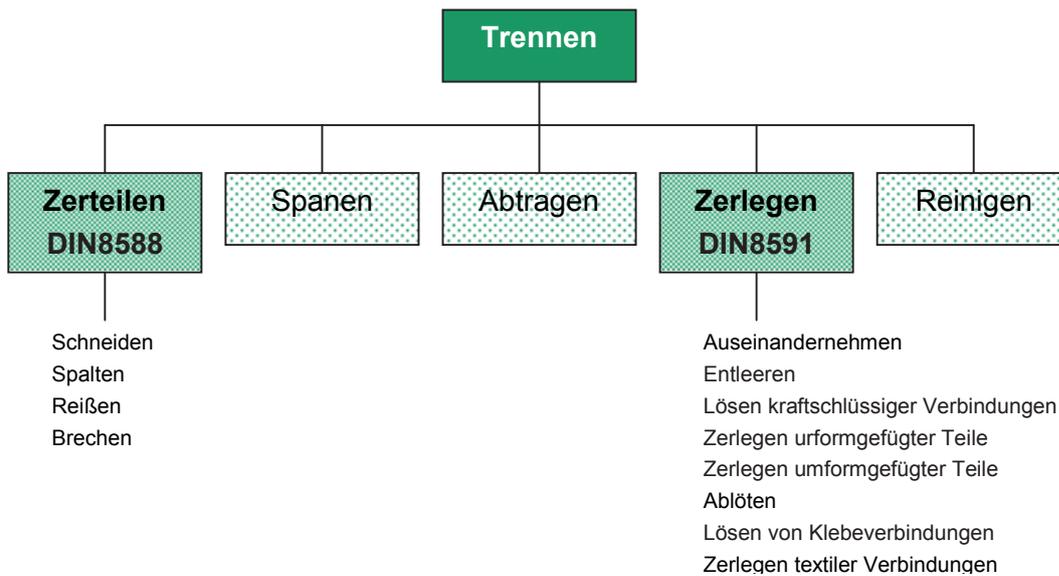


Abbildung 5.2: Fertigungsverfahren Trennen [56, S. 44 u. 183]

## 5.1 Demontagenvorbereitung

Im Vorfeld eines Demontageversuchs gehört zuallererst abgeklärt, wie die Durchführung erfolgt, was das Ziel der Untersuchungen sein soll, wer die Untersuchung führt, wo und wann diese erfolgt und wie viel dabei an Kosten und Erlösen entstehen wird.

Im konkreten Fall der Untersuchung in dieser Diplomarbeit handelt es sich um Türmodule von Kraftfahrzeugen des Herstellers BMW. Verglichen werden dabei zwei verschiedene Türen:

- BMW 318i (E30), Altfahrzeug Bj. 1990
- BMW 3er (E46), Vorserienmodell Bj. 1997

Interessant ist besonders das Türmodul des BMW E46, da einige Teile daraus für den bei Magna Steyr Fahrzeugtechnik entwickelten BMW X3 (E83-Prototyp) übernommen werden.

Das Ziel dieser Untersuchung liegt darin, diese Türen verschiedenen Alters in Hinblick auf Verbesserungen in der recyclinggerechten Konstruktion und Demontagefähigkeit zu betrachten, welche Unterschiede im Werkstoffeinsatz zu finden sind und schlussendlich welche Recyclingquoten und Wiederverwertbarkeitsquoten sich daraus ergeben.

Abschließend werden mögliche Verwertungswege und Verfahren für die einzelnen demontierten Bauteile vorgeschlagen. Die Bauteile müssen dafür auf ihre Kreislaufignungen (Wirtschaftlichkeit) geprüft werden.

## 5.1.1 Demontageumfeld

### 5.1.1.1 Arbeitsplatz

Die Durchführung der Demontage erfolgte am Betriebsgelände der Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG (kurz: MSF), Sparte EGE, Halle 17 (Rüstraum). Material und Werkzeug wurden hierfür von der MSF bzw. vom Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben zur Verfügung gestellt. Die Anordnung des Arbeitsplatzes zur Demontage ist in Abbildung 5.3 dargestellt und die Beschreibung der einzelnen Bereiche ist der Tabelle 5.1 zu entnehmen. Der Platzbedarf liegt bei einer Fläche von ca. 15 bis 20 Quadratmeter.

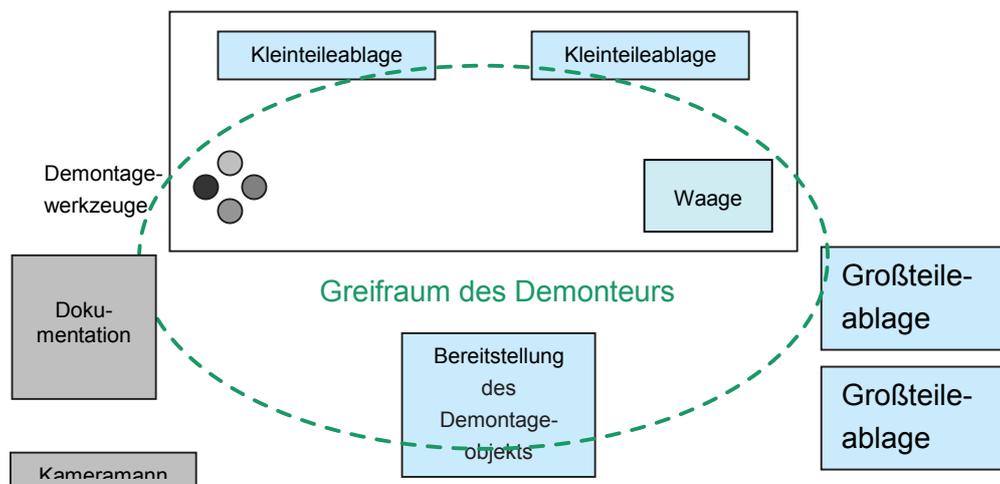


Abbildung 5.3: Demontagebereich

Bei der Anordnung des Arbeitsplatzes wurden Empfehlungen der DIN-Norm Umweltgerechte Produktentwicklung [48, S. 8] herangezogen, die ein Layout für einen Einzeldemontageplatz unter Berücksichtigung des Greifraums eines Arbeiters vorschlägt. Wichtige Grundregel hierbei ist, demontierte Kleinteile im Greifraum und Großteile in unmittelbarer Nähe, z. B. in Gitterboxen, ablegen zu können.

### 5.1.1.2 Werkzeug

Das nötige Werkzeug für den Versuch ist in Tabelle 5.1 angeführt und in Abbildung 5.4 abgebildet. Das verwendete Werkzeug umfasst Standardwerkzeuge wie Schraubendreher, Zange, Hammer, Torxschrauber und Dokumentationsmittel wie Digitalkamera (bildliche Festhaltung der Handgriffe und des Demontagefortschrittes) und Waage (Massenbestimmung der demontierten Teile).

Tabelle 5.1: Werkzeug, Arbeitsbereich und Dokumentation bei der Türdemontage

Standardwerkzeuge	Bemerkung
Außensechskant	Nussen-Satz, Ratsche, groß, klein, mittel
Imbusschlüsselsatz	
Hammer	Kunststoffhammer
Montiereisen	600 mm
Messer	scharf
Ringschraubenschlüsselsatz	
Flach-Schraubendreher	groß, klein
Kreuz-Schraubendreher	mittel
Kombizange	
Seitenschneider	
Spitzzange	
Innen-TORX-Bits und Schrauber	3 Stk.
<b>Arbeitsbereich EGE-Rüstraum</b>	
Arbeitsplatte/Tisch	
Groß-Behälter (für die zerlegten Teile)	Karton-Boxen
Ablage für Kleinteile	Aufbewahrungssystem (Kunststoff)
Beleuchtung	
Elektrokabel (Verlängerung)	Kabeltrommel
<b>Dokumentation</b>	
Stand-Waage	Sartorius (bis 150 kg, Genauigkeit auf 1g)
Tischwaage	Sartorius (bis 5 kg, Genauigkeit auf 0,1 g)
Digitalkamera	Nikon (3,1 Mega-Pixel)
Digitalcamcorder mit Stativ	Sony
Notizblock und Stift (wasserfest!)	Post-It-Klebezettel

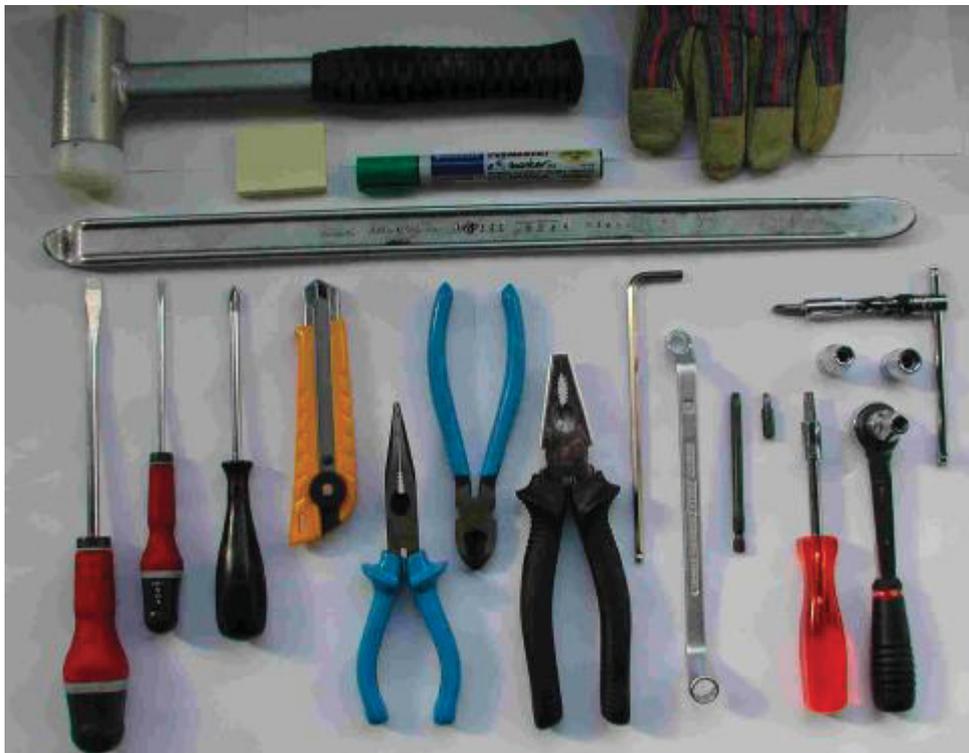


Abbildung 5.4: Verwendetes Werkzeug bei der Türdemontage

### 5.1.2 Stückliste

Um ein Recycling von komplexen technischen Gebrauchsgütern zu ermöglichen, muss man eine Vielzahl von Einflussfaktoren bestimmen und in Erfahrung bringen. Stücklisten sind, um eine Produktanalyse im Hinblick auf Demontage- und Recyclingfähigkeit durchführen zu können, durchaus geeignete Informationsquellen. Die Stücklisten geben einerseits Auskunft über die für das Recycling notwendige Produkt- und Strukturdaten, andererseits können sie Erkenntnisse über Separationsmöglichkeiten und Verwertungsoptionen liefern.

Alle Daten über Einzelteile, die in den Stücklisten der Hersteller aufgelistet sind, sind zu übernehmen bzw. zu ermitteln (Einzelteilnummer und Name, Materialzusammensetzung, Gesamtgewicht, Anzahl der jeweiligen Einzelteile). Der optimale Detaillierungsgrad der Angaben soll sich am Detaillierungsgrad bei der Montage orientieren, z. B. kleine E-Motoren sind ein Teil, unabhängig von der Anzahl der Motoreinzelteile [26, S. 60ff].

### 5.1.3 Explosionszeichnung

Mit Hilfe von Explosionszeichnungen ist schon vor der praktischen Durchführung einer Demontage feststellbar bzw. anzunehmen, wo und wie die einzelnen Bauteile und Gruppen miteinander verbunden sind. Daraus ist eine theoretische Demontageanleitung ableitbar, in der die voraussichtliche Abfolge der Zerlegeschritte aufgelistet ist und bereits im Vorfeld die Verbindungsart eruiert bzw. abgeschätzt werden kann.

### 5.1.4 Produktstruktur und Hierarchie-Ebenen

Um die aufgelisteten Teile aus der Stückliste übersichtlich zu präsentieren und die Reihenfolge bzw. Ebenen der Anordnung dieser Elemente darzustellen, was eine Voraussetzung zur Demontage(-beurteilung) bildet, wählt man vorzugsweise das System von baumstrukturierten Graphen.

Die Produkte sind meist streng hierarchisch aufgebaut, d.h. in Baugruppen, Unterbaugruppen und Bauteile (Einheiten und Einzelteile, respektive Werkstoffe). Ein Einzelteil ist das kleinste Element in dieser Hierarchie. Es kann in einem Werkstoff, jedoch auch aus mehreren Werkstoffen als Verbund aufgebaut sein. Baugruppen können in verschiedenen Ordnungen auftreten, also in weitere Unterbaugruppen einteilbar sein [26, S. 60ff].

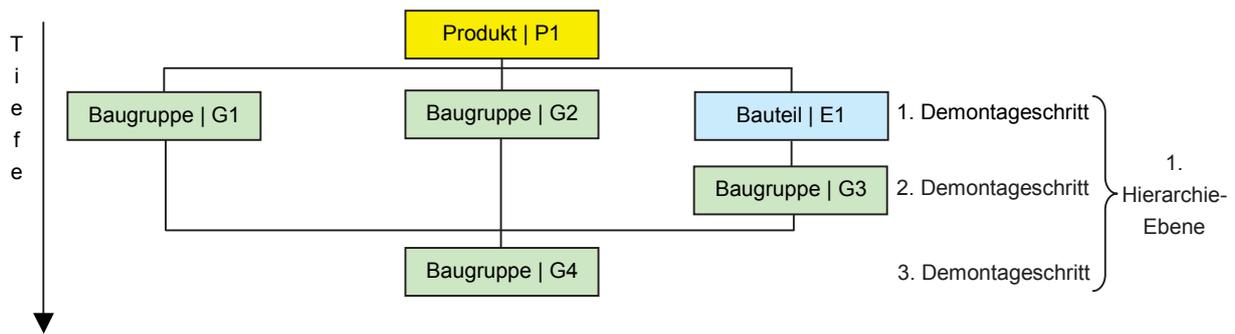


Abbildung 5.5: Produkt-Struktur-Graph [26, S. 63]

Abbildung 5.5 zeigt eine Baumstruktur, aus der die Demontagerihenfolge (Demontageschritt und Hierarchie-Ebene) ablesbar sind. Weiters ist ersichtlich, welche Zerlege-Struktur bei der Demontage gewählt wurde. P1 stellt das Gesamtprodukt dar, G1, G2, G3 und G4 stellen Baugruppen und E1 ein Einzelteil (Bauteil) dar. G1, G2 und E1 sind direkt (ohne eine Vordemontage) demontierbar (1. Demontageschritt). G3 kann erst nach lösen von E1 demontiert werden (2. Demontageschritt). G4 ist erst demontierbar, wenn G1, G2, E1 und G3 gelöst worden sind (3. Demontageschritt).

Die nächste Hierarchieebene umfasst die weitere Zerlegung der in der ersten Ebene gewonnenen Baugruppen in Unterbaugruppen, was wieder in einer Baumstruktur dargestellt wird. Das wird solange praktiziert, bis man in maximaler Strukturtiefe nur noch Einzelteile (bzw. Werkstoffe) beim letzten Demontageschritt (DS) der letzten Hierarchieebene findet. Ab da ist keine weitere Zerlegung der Teile mehr möglich (siehe Abbildung 5.6 ).

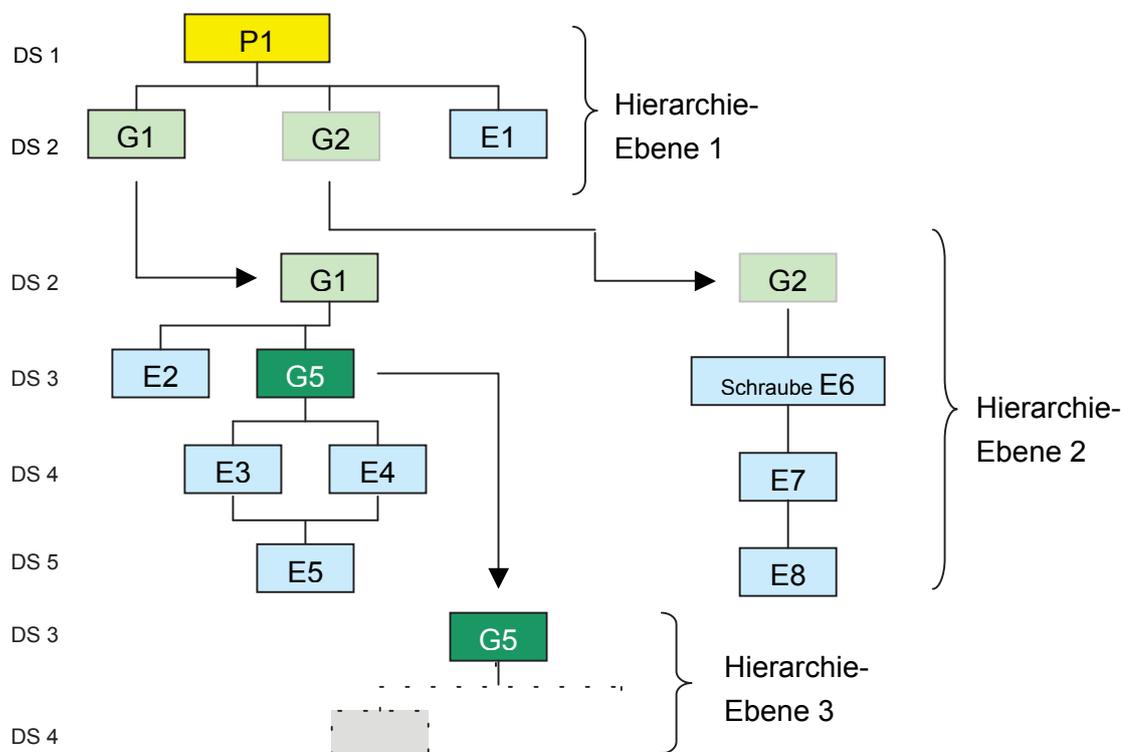


Abbildung 5.6: Hierarchieebenen bei der Modulzerlegung [26, S.65]

Der Vorteil der Baumstruktur besteht darin, dass man die Demontagetiefe und die Abfolge der zu lösenden Teile, um an eine bestimmte Baugruppe bzw. bis an bestimmte Bauteile zu gelangen, ablesen kann.

### 5.1.5 Verbindungsgraphen

Eine graphische Darstellung der Verbindungselemente mittels Teilverbindungsgraphen ist sinnvoll, um den Aufbau der Türen und den physikalischen Zusammenhang der Einzelteile beschreiben zu können. Man verwendet zur Abbildung Knoten und Kanten, die jeweils Verbindungen oder Einzelteile darstellen. In dieser Diplomarbeit wurde das System mit Knoten zur Darstellung der Einzelteile und Kanten zur Darstellung der Verbindungen gewählt (siehe Abbildung 5.7). Knoten werden mit Bauteilnummern (z. B. 1 bis 7) und Kanten mit der jeweiligen Verbindungsart (z. B. a bis g) bezeichnet. Damit kann abgeleitet werden, welche Verbindungen zu lösen sind, um einen (Bau-)Teil demontieren zu können [43, S. 51ff].

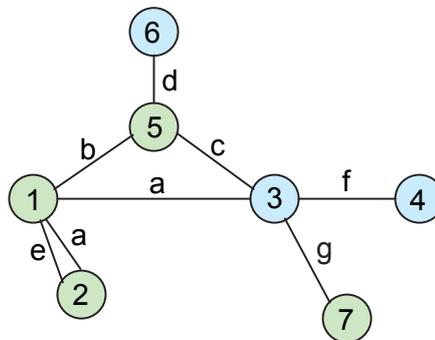


Abbildung 5.7: Teilverbindungsgraph zur Baustrukturdarstellung [43, S. 54]

### 5.1.6 Dokumentation

Beim Demontageversuch ist festzuhalten, wie man die einzelnen Demontageschritte praktisch durchführt, wie schwer die demontierten Teile sind (Masseermittlung mittels Wiegen) und wie viel Zeit der Demontage- bzw. Lösevorgang in Anspruch nimmt.

Die große Datenmenge, die sich aus der Demontageuntersuchung komplexer Produkte (wie z. B. ein Türmodul) ergibt, fordert eine sachgerechte und ordentliche Dokumentation. Hierfür ist es notwendig, jeden Löse- und Trennvorgang (möglichst mit verwendetem Werkzeug) bildlich und zeitlich mitzuverfolgen. Optimale Voraussetzung hierfür ist ein Camcorder, Stoppuhr und digitaler Fotoapparat. Des Weiteren sind die jeweils gewonnenen Teile vor jeder weiteren Zerlegung zu wiegen. Im Falle einer Materialkennzeichnung ist der angeführte Werkstoff und/oder Schadstoff anzuführen. Bei möglichen Auffälligkeiten (vor allem Alterungserscheinungen und Bauteilzustand) sind diese mitzudokumentieren.

## 5.2 Durchführung der Türmodul-Demontage

Bei der Durchführung der Demontage wurde eine MS-Excel-Tabelle verwendet, um die Demontage zu dokumentieren. Sie beinhaltet die wesentlichen Daten für eine dem praktischen Teil folgende Auswertung, d.h. auch mögliche Verwertungsmöglichkeiten, Angaben zu Deklarationspflichten und, so weit bestimmbar, Erlöse/Kosten-Angaben.

### 5.2.1 Demontagerichtung

Einen sehr wichtigen Punkt in der Demontage stellt die Demontagerichtung dar. Die Dokumentation der Demontagerichtung ermöglicht Dritten, den Demontagevorgang leichter nachzuvollziehen, aber auch, die Vorgänge am Demontageplatz kontinuierlich zu optimieren (siehe Abbildung 5.8).

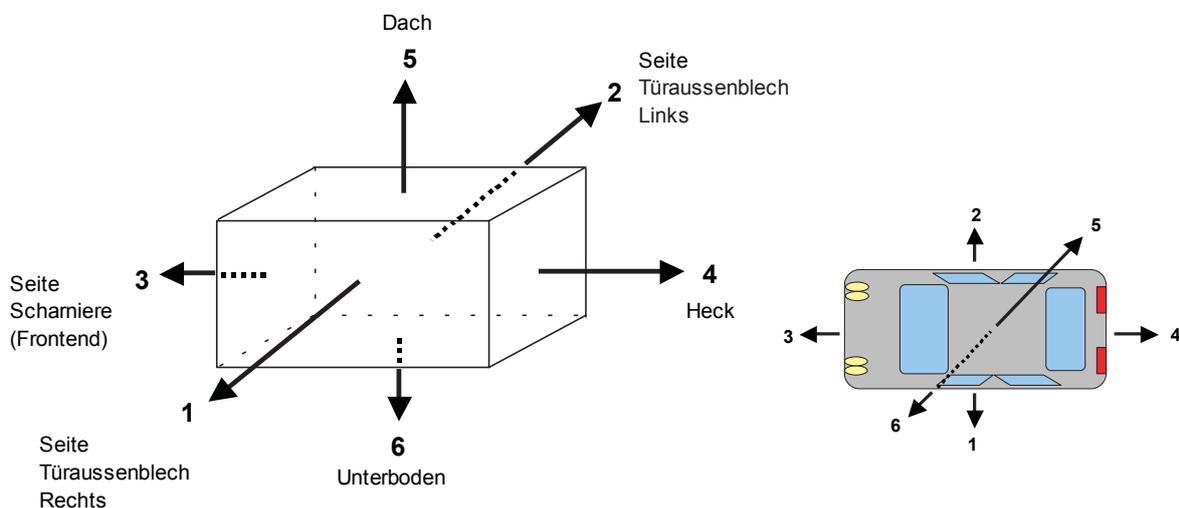


Abbildung 5.8: Definierte Demontagerichtungen

### 5.2.2 Demontagezeit

Die ursprünglich vorgesehene Messung der Demontagezeiten für die einzelnen Bauteile ist nicht durchgeführt worden. Aus dem auf die Demontagetätigkeiten geschnittenen Film kann man aber eine Gesamtdemontagezeit ermitteln, die dann in der Kostenkalkulation für die Errechnung der Demontagekosten herangezogen werden kann.

### 5.2.3 Demontagevorrichtung

Zur Demontage der Türmodule ist ein eigens dafür konstruiertes Montagegestell (vom firmeneigenen Prototypenbau angefertigt) verwendet worden, auf welches die Türmodule an den Scharnierbolzen schwenkbar aufgehängt werden konnten (siehe Abbildung 5.9). Eine Weiterzerlegung der demontierten Bauteile erfolgte auf der Werkbank.



Abbildung 5.9: Montagegestell mit Türmodulen des BMW E30 (rechts) und BMW E46 (links)

Die beiden Dokumentationslisten Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3 geben Auskunft über die Ergebnisse aus dem Versuch. Eine Fotodokumentation der Demontageversuche findet sich im Anhang C. Nachfolgend sind die Resultate daraus aufgelistet:

- Die Massenabweichung zwischen der Masse des E30-Türmoduls (22.820 Gramm) und der summierten Masse der demontierten Bauteile (22.800 Gramm) liegt bei 20 Gramm, was durchaus im Bereich der Messungenauigkeit der großen Standwaage liegt<sup>6)</sup>. Beim E46-Türmodul liegt der Massenunterschied bei 40 Gramm. Die Masse der Gesamttür beträgt 30.210 Gramm, die Masse der demontierten Bauteile beträgt 30.170 Gramm. Die Abweichung von 40 Gramm kann ebenfalls mit der Meßungenauigkeit argumentiert werden.
- Nach 63 Demontageschritten wurde die E30-Tür bis auf den Rohbau (reiner Metallkörper) demontiert. Dabei sind 104 (Bau-)Teile gelöst worden. Verglichen dazu kommt man bei der E46-Tür auf 62 Demontageschritte und muss 93 (Bau-)Teile lösen, um als Resultat den reinen Rohbau zu erhalten.
- Die Zeit der reinen Demontagetätigkeiten liegt für die E30-Tür bei ca. 14 Minuten (Komplettdemontage). Dieser Wert ergibt sich aus der Länge des aufgenommenen und auf die reinen Demontagehandgriffe geschnittenen Demontagevideos. Dem gegenüber stehen 20 Minuten Demontagezeit für eine Komplettdemontage des E46-Türmoduls.

<sup>6)</sup> Man beachte den großen Messbereich zwischen den Massen von 1 Gramm bei diversen Bauteilen und der Gesamtmasse der Tür von 22.820 Gramm.

Tabelle 5.2: Demontageschritte beim BMW E30 Türmodul (Baujahr 1990)

Nomenklatur			Menge	Demontage				Gewicht	Eigenschaften						
Demontageschritt	Demontageschritt (DE)	Bezeichnung	Anzahl an demont. Teilen	verwendetes Werkzeug	Trennverfahren (nach DIN 8591/ 8588) Demontageweg	Demontageaufwand leicht/ mittel/ schwer	Demontagerichtung	Masse [Gramm]	Verbindungstechnik	Kennzeichnung (ja/ nein)	Material/ verbund. Werkstoff	deklarationspflichtig? [lt. VDA 232-101]	gefährlicher Abfall/ Schadstoff	Sonstiges (Bemerkung, Zustand...)	Verwendung/ Verwertungsweg
1	1	Türgriff Abdeckung	1	Flachschraubenzieher klein	Aufbiegen	leicht	1	3	Steckverbindung	nein	Kunststoff			Alterung	therm./rohstoff. Verwertung
2	1	Hebel-Fensterheber Abdeckung	1	Flachschraubenzieher klein	Aufbiegen	leicht	1	3	Steckverbindung	nein	Kunststoff			Alterung	therm./rohstoff. Verwertung
3	1	Rahmen Türöffner Innen	1	Flachschraubenzieher klein	Aufbiegen	leicht	1	10	Steckverbindung	nein	Kunststoff			Alterung	therm./rohstoff. Verwertung
4	1	Abdichtung Türrahmen oben	1	Messer und Hand	Abschneiden und Abziehen	leicht	5	175	Steckverbindung	nein	Gummi			Alterung	therm./rohstoff. Verwertung
5	2	Kreuz-Schrauben Türzuziehgriff	3	Kreuzschraubenzieher mittel	Abschrauben	leicht	1	14	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
6	3	Türzuziehgriff	1	Hand	Abheben	leicht	1	544	Schraubverbindung	nein	Kunststoff und Metall	ja	Cr6	Metall+Kunststoff eingeschäumt	thermische Verwertung
7	2	Schraube Hebel-Fensterheber	1	Torschraubenzieher	Abschrauben	leicht	1	5	-	nein	Metall	nein	-	lackiert, Schraube und Scheibe	Schrott
8	3	Modul: Hebel-Fensterheber	1	Hand	Abheben	leicht	1	79	Steckverbindung	nein	Verbund-Modul	-	-	weiterzerlegt	Schrott
9	3	Kunststoffscheibe Hebel-F.	1	Hand	Abnehmen	leicht	1	1	lose (am Hebel)	nein	Kunststoff			Alterung	therm./rohstoff. Verwertung
10	4	Drehknopf Hebel-F.	1	Spitzzange	Herausziehen - Steckverbindung lösen	mittel	Werkbank	15	Steckverbindung	nein	Kunststoffverb.				therm./rohstoff. Verwertung
11	4	Rahmen Hebel-F.	-	-	-	-	Werkbank	63	-	nein	Metall	nein	-	lackiert, Rest	Schrott
12	1	Abdichtung Türbremse	1	Hand	Abziehen	leicht	3	19	lose (gesteckt)	nein	Gummi			Alterung, stark fettverschmutzt	therm./rohstoff. Verwertung
13	1	Stecker Kabelstrang	1	Seitenschneider	Beißschneiden - Abwickeln	leicht	3	19	-	nein	Kunststoff + Cu			Gehäuse und Kabelreste	Kabelschrott
14	2	Kabelkanal	1	Hand	Abziehen	leicht	3	46	lose (gesteckt)	nein	Gummi			Alterung, spröde	therm./rohstoff. Verwertung
15	3	Modul: Türinnenverkleidung	1	Montierisen und Hand	Aufbiegen und Abziehen	leicht	1	2030	Schraubverb. und Steckverb.	nein	Verbund-Modul			weiterzerlegt	thermische Verwertung
16	4	Kreuz-Schrauben Kartentasche	2	Kreuzschraubenzieher mittel	Abschrauben	leicht	Werkbank	19	-	nein	Metall	ja	Cr6	2x Schraube und Scheibe	Schrott
17	5	Kartentasche	1	Hand	Abnehmen	leicht	Werkbank	247	Schraubverbindung	nein	ABS	nein	-	Materialangabe lt. IDIS Plant Vers. 2.0.6: ABS-Grün	stoffliches Recycling
18	4	Schachtabdeckung Innen	1	Hand	Abziehen	leicht	Werkbank	191	Metalclipsverbindung	nein	Verbund			weiterzerlegt	Zementwerk
19	5	Metallclips	4	Hand	Abziehen	leicht	Werkbank	27	Steckverbindung	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
20	5	Schachtabdeckung Innen	-	-	-	-	Werkbank	164	-	nein	Gummi und Metall			Rest - Verbund	Zementwerk
21	4	Schaumfolie	1	Hand	Abziehen	leicht	Werkbank	132	eingelegt	nein	Kunststoff			verschmutzt	therm./rohstoff. Verwertung
22	5	Dekor Türinnenverkleidung	1	Flachschraubenzieher klein und Hand	Klammern lösen und Abziehen	schwer	Werkbank	408	Klammer- und Klebeverbindung	nein	Kunststofftextil			Textilverbund	therm./rohstoff. Verwertung
23	6	Träger Türinnenverkleidung	-	-	-	-	Werkbank	1033	-	nein	Hartfaserplatte	nein	-	Holz+Kunststoffclips	thermische Verwertung
24	4	Folie Rohbaubdeckung	1	Hand	Abziehen einer Klebefolie	leicht	1	78	Klebeverbindung	nein	Kunststoff			Kleberschmutz	therm./rohstoff. Verwertung

Nomenklatur			Menge	Demontage				Gewicht	Eigenschaften						
Demontage-schritt	Demontage-ebene (DE)	Bezeichnung	Anzahl an demont. Teilen	verwendetes Werkzeug	Tr ennver f ahren (nach DIN 8591/ 8588) Demontagovor gang	Demontageauf wand leicht/ mittel/ schwer	Demontage-richtung	Masse [Gr am]	Ver bindungstechnik	Kennzeichnung (ja/ nein)	Material/ verbund. Werkstoff	deklar ationspflichtig? [lt. VDA 232-101]	gef ährlicher Abfall/ Schadstoff	Sonstiges (Bemerkung, Zustand...)	Verwendung/ Verwertungsweg
25	5	Befestigung Fensterheber	6	Steckschlüssel und Ratsche	Abschrauben	leicht	1	30	-	nein	Metall	ja	Cr6	2x Muttern + 4x Schraube und Scheibe	Schrott
26	6	Fensterheber	1	Hand	Herausnehmen - drehen	leicht	1	1017	Schraubverbindung	nein	Metall			Fettverunreinigung	Schrott
27	6	Seitenscheibe	1	Hand	Herausnehmen - drehen	leicht	5	3013	eingehängt	nein	Glas			Aufgeklebte Metallbefestigungen	Wiederverw./ Glasrecycling
28	5	Schrauben Türöffner Innen	2	Kreuzschraubenzieher mittel	Abschrauben	leicht	1	9	-	nein	Metall	ja	Cr6	2x Schraube und Scheibe	Schrott
29	6	Türöffner und Schale Innen	1	Hand	Herausnehmen - drehen	leicht	1	50	Schraubverbindung	nein	Kunststoff und Metall	ja	Cr6	Verbund	thermische Verwertung
30	2	Schrauben Aussenspiegel	2	Steckschlüssel und Ratsche	Abschrauben	leicht	1	6	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
31	3	Modul: Aussenspiegel	1	Hand	Abnehmen	leicht	2	767	Schraubverbindung und gesteckt	nein	Verbund-Modul			weiterzerlegt	Wiederverw./ Shredder
32	3	Abdichtung Aussenspiegel	1	Hand	Abnehmen	mittel	Werkbank	39	lose eingelegt	nein	Gummi			Aussenteil, Alterung	therm./rohstoff. Verwertung
33	1	Abdeckung Aussenspiegel	1	Hand	Aufbiegen - Zug am Kabel	leicht	Werkbank	5	Steckverbindung	nein	Kunststoff			Aussenteil	therm./rohstoff. Verwertung
34	3	Aussenspiegel Rest	-	-	-	-	Werkbank	723	-	nein	Verbund			Kunststoff, Glas, Gummi, Metall, Kabel	Shredder
35	5	Schrauben Zentralverriegelung	2	Steckschlüssel und Ratsche	Abschrauben	leicht	1	5	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
36	6	Zentralverriegelung	1	Hand	Abklemmen (Kabelstecker) und Herausnehmen	leicht	1	129	Schraubverbindung und gesteckt	nein	Verbund-Modul			Kunststoff und Metall	Shredder
37	5	Schraube Fensterführung 1	1	Steckschlüssel und Ratsche	Abschrauben	leicht	1	6	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
38	6	Fensterführung 1	1	Hand	Herausnehmen - aus Türinnenraum	leicht	1	176	Schraubverbindung	nein	Metall	ja	Cr6	Clips Cr6	Schrott
39	1	Schrauben Systemschloss	3	Kreuzschrauben-Bit mittel und Ratsche	Abschrauben - von Türrahmen lösen	mittel	4	19	-	nein	Metall	ja	Cr6	3x Schraube und Scheibe	Schrott
40	5	Clips Systemschloss	1	Hand	Aushängen - mit Hand zusammendrücken	leicht	1	-	Clipsverbindung	nein	Kunststoff			an Betätigungsstange	therm./rohstoff. Verwertung
41	5	Systemschloss und Betätigungsstangen	1	Hand und Seitenschneider	Beißschneiden und Herausnehmen	mittel	1	543	Schraubverbindung und Clipsverbindung	nein	Verbund-Modul	ja	Cr6	Kunststoffgehäuse und Metall	Shredder
42	5	Verbindungen Kabelstrang	10	Seitenschneider	Beißschneiden - 9 Kabelbinder + 1 Clips lösen	mittel	1	-	-	nein	Kunststoff				therm./rohstoff. Verwertung
43	6	Kabelstrang	1	Hand	Herausziehen - aus Türinnenraum	leicht	1	146	Kabelbinder und Clipsverbindung	nein	Kabel-Verbund		PVC?	Verbindungen am Kabel verblieben	Kabelschrott
44	1	Verkleidung B-Säule Innen	1	Flachschraubenzieher groß	Aufbiegen - Steckverbindung lösen	leicht	1	60	Steckverbindung	nein	Kunststoff				therm./rohstoff. Verwertung
45	1	Schrauben Türaussengriff	2	Kreuzschraubenzieher mittel	Abschrauben	leicht	2	4	-	nein	Metall			silberfarbig	Schrott
46	2	Türaussengriff	1	Hand	Abheben	leicht	2	44	Schraubverbindung	nein	Metall			lackiert	Schrott
47	5	Schrauben Träger-Türaussengr.	2	Steckschlüssel und Ratsche mit Verlängerung	Abschrauben	leicht	1	9	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
48	6	Träger-Türaussengriff	1	Hand	Herausnehmen - aus Türinnenraum	leicht	1	282	Schraubverbindung	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
49	1	Mutter Leiste-Türaussenhaut	1	Kombizange	Abschrauben	leicht	1	1	-	nein	Kunststoff				therm./rohstoff. Verwertung
50	2	Leiste-Türaussenhaut	1	Hand	Abschrauben und Abziehen	leicht	2	411	Schraubverbindung und Clipsverbindung	nein	Gummi und Metall			Verbund	Zementwerk

Nomenklatur			Menge	Demontage				Gewicht	Eigenschaften						
Demontage-schritt	Demontage-ebene (DE)	Bezeichnung	Anzahl an demont. Teilen	verwendetes Werkzeug	Tranverfahren (nach DIN 8591/ 8588) Demontevorgang	Demontageaufwand leicht/ mittel/ schwer	Demontagerichtung	Masse [Gramm]	Verbindungstechnik	Kennzeichnung (ja/ nein)	Material/ verbund. Werkstoff	deklarationspflichtig? [lt. VDA 232-101]	gefährlicher Abfall/ Schadstoff	Sonstiges (Bemerkung, Zustand...)	Verwendungs-/ Verwertungsweg
51	1	Schachtabdeckung Aussen	1	Flachschraubenzieher und Hand	Aufbiegen - mit Clipsen herausziehen	leicht	5	101	Steckverbindung und Clipsverbindung	nein	Gummi und Metalleinleger			Verbund	Zementwerk
52	1	Blende Fensterrahmen Unten Aussen	1	Flachschraubenzieher und Hand	Aufbiegen	leicht	5	102	Steckverbindung	nein	Metall			lackiert	Schrott
53	2	Clipse	6	Flachschraubenzieher und Hand	Aufbiegen und Herunterziehen	leicht	5	22	Steckverbindung	nein	Metall	ja	Cr6	vom Rahmen ziehen	Schrott
54	2	Dichtung Fensterrahmen	1	Flachschraubenzieher und Hand	Herunterziehen	mittel	2	351	eingelegt	nein	Gummi			Spröde	therm./rohstoff. Verwertung
55	1	Blende B-Säule Aussen	1	Flachschraubenzieher groß	Aufbiegen und Klebeverbindung lösen	mittel	2	231	Klebeverbindung und Steckverbindung	nein	Metall			lackiert, Klebeverunreinigung	Schrott
56	1	Blende Fensterrahmen Oben Aussen	1	Flachschraubenzieher groß	Aufbiegen und Herunterziehen	mittel	2	103	Klebeverbindung und Steckverbindung	nein	Metall			lackiert, Klebeverunreinigung	Schrott
57	2,4	Clipse Fensterrahmen	14	Flachschraubenzieher und Kombizange	Aufbiegen und Herunterziehen (vom Rahmen)	leicht	1,2	13	Steckverbindung	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
58	5	Schiebeclips Türschloss	1	Flachschraubenzieher groß	Keilverbindung lösen - Clips verschieben	leicht	1	9	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
59	6	Türschloss	1	Hand	Herausziehen	leicht	2	81	Clipsverbindung	nein	Kunststoff und Metall			Verbund	Schrott
60	6	Träger-Türschloss	1	Hand	Herausnehmen	leicht	1	80	Clipsverbindung	nein	Metall und Kabelrest	ja	Cr6, PVC?	Verbund	Schrott
61	5	Schraube Fensterführung 2	1	Ringschraubenschlüssel	Abschrauben	leicht	1	6	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
62	6	Fensterführung 2	1	Hand	Herausnehmen - aus Türinnenraum	leicht	1	160	Schraubverbindung	nein	Metall	ja	Cr6	Clips Cr6	Schrott
63	-	Rohbau	1	-	-	-	-	11790	-	-	Metall	-	-	REST, Ende der Komplettdemontage	Schrott

Teile demontiert: 104 Teile

Masse demontiert: 22800 [Gramm]

Kommentar:

Werkstoffe nicht bestimmbar (versch. Kunststoffsorten etc.)

Wiegefehler: 20 [Gramm]

Hinterlegte Felder stellen Bauteile nach einer Weiterzerlegung von Modulen dar.

Tabelle 5.3: Demontageschritte beim BMW E46 Türmodul (Baujahr 1997)

Nomenklatur			Menge	Demontage				Gewicht	Eigenschaften						
Demontageschritt	Demontageschritt (DE)	Bezeichnung	Anzahl an demont. Teilen	verwendetes Werkzeug	Tranverfahren (nach DIN 8591/8588) Demontagevorgang	Demontageaufwand leicht/mittel/schwer	Demontagerichtung	Masse (Gramm)	Verbindungstechnik	Kennzeichnung (ja/nein)	Material/verbund. Werkstoff	deklarationspflichtig? [lt. VDA 232-101]	gefährlicher Abfall/Schadstoff	Sonstiges (Bemerkung, Zustand...)	Verwendung/Verwertungsweg
1	1	Abdeckungen	2	Flachschraubenzieher Klein	Aufbiegen	leicht	2	2	Steckverbindung	nein	Kunststoff				therm./rohstoff. Verwertung
2	1	Modul: Blendleiste Türinnenverkl.	1	Flachschraubenzieher groß	Aufbiegen	leicht	2	100	Clipsverbindung	ja	ABS+PC, Metallstifte	nein	-	weiterzerlegt	Shredder
3	2	Metalstifte Blendleiste-Türinnenv.	4	Hand	Herauschieben	leicht	Werkbank	6	Steckverbindung	nein	Aluminium	nein	-	-	Aluminium-Verwertung
4	2	Blendleiste Türinnenverkl.	-	-	-	-	Werkbank	94	-	ja	ABS+PC	nein	-	-	stoffliches Recycling
5	1	Schalter Fensterheber	1	Flachschraubenzieher groß	Herausziehen und Abklemmen (Stecker)	mittel	5	33	Steckverbindung	ja	Gehäuse: PA6 GF30			Kontakte aus Metall	thermische Verwertung
6	2	Schrauben Türinnenverkleidung	5	Torschraubenzieher	Abschrauben	leicht	2	17	-	nein	Metall			schwarz eloxiert	Schrott
7	3	Modul: Türinnenverkleidung	1	Montiereten und Hand	Aufbiegen und Abziehen, Abklemmen (Stecker)	leicht	2	3153	Schraubverbindung und Clipsverbindung	ja	Verbund-Modul			weiterzerlegt	thermische Verwertung
8	4	Schrauben Lautsprecher	3	Kreuzschraubenzieher	Abschrauben	leicht	Werkbank	5	-	nein	Metall			schwarz eloxiert	Schrott
9	4	Dämmabdeckung Lautsprecher	1	Hand	Abnehmen	leicht	Werkbank	54	ingelegt	nein	PUR	nein	-	guter Zustand	PUR-Recycling
10	5	Mittellautsprecher	1	Hand	Abnehmen	leicht	Werkbank	419	Schraubverbindung	ja	Rahmen: PA6 GF30			Verbund-Modul: PA, Metall, Magnet, Kabel, Membran...	Wiederverwendung
11	6	Gitter Lautsprecher	1	Hand	Herauspressen	leicht	Werkbank	25	Steckverbindung	nein	Kunststoff			-	therm./rohstoff. Verwertung
12	6	Rest der Türinnenverkleidung	-	-	-	-	Werkbank	2650	-	ja	Verbund			nicht weiter auftrennbar, Klebe- und Schweißverbindungen	thermische Verwertung
13	4	Schrauben Airbagmodul	3	Steckschlüssel und Ratsche	Abschrauben	leicht	2	19	-	nein	Metall			schwarz eloxiert und rot lackiert	Schrott
14	5	Airbagmodul	1	Hand	Abnehmen	leicht	2	701	Schraubverbindung	nein	Verbund-Modul			ausgelöst, Metall und Kunststoff	Shredder
15	4	Dämmschaumabdeckung	1	Hand	Abziehen einer Klebefolie	leicht	2	129	Klebeverbindung	ja	PE	nein	-	geschäumt	therm./rohstoff. Verwertung
16	1	Schachtabdeckung Innen	1	Flachschraubenzieher groß und Hand	Aufbiegen und Herausziehen	leicht	5	156	Clipsverbindung	ja	EPDM und Stahleinleger	nein	-	-	Zementwerk
17	4	Clipse Schachtabdeckung Innen	5	Kombizange und Hand	Aufbiegen und Abziehen	leicht	5	27	Steckverbindung	nein	Metall			schwarz eloxiert	Schrott
18	1	Modul: Abdeckung Fensterahmen Innen	1	Flachschraubenzieher groß und Hand	Aufbiegen und Herausziehen	leicht	2	315	Steckverbindung	ja	PA6 GF15	nein	-	weiterzerlegt	thermische Verwertung
19	2	Abdichtung Hochtönlautsprecher	1	Hand	Abnehmen	leicht	Werkbank	6	ingelegt	ja	PE	nein	-	geschäumt	therm./rohstoff. Verwertung
20	3	Gitter Hochtönlautsprecher	1	Hand	Herauspressen	leicht	Werkbank	7	Steckverbindung	nein	Metall			schwarz eloxiert	Schrott
21	3	Rest der Abdeckung Fensterahmen Innen	-	-	-	-	Werkbank	302	-	ja	PA6 GF15	nein	-	-	PA6-Recycling
22	2	Schraube Hochtönlautsprecher	1	Torschraubenzieher	Abschrauben	leicht	2	6	-	nein	Metall			türkis-blau angelaufen	Schrott
23	3	Hochtönlautsprecher	1	Hand	Abnehmen - mit Schraube	leicht	2	39	Schraubverbindung	ja	Rahmen: PA6 GF30			Verbund-Modul: PA, Metall, Magnet, Kabel, Membran...	Wiederverwendung

Nomenklatur			Menge	Demontage				Gewicht	Eigenschaften						
Demontage-schritt	Demontage-ebene (DE)	Bezeichnung	Anzahl an demont. Teilen	verwendetes Werkzeug	Tr ennver f ahren (nach DIN 8591/ 8588) Demontevor gang	Demontageauf wand leicht/ mittel/ schwer	Demontage-ri chtung	Masse [Gr amm]	Ver bindungstechnik	Kennzei chnung (ja/ nein)	Material/ verbund, Wer kstof f	deklar ationsp flichtig? [It. VDA 232-101]	gef ahr licher Abf all/ Schadstof f	Sonstiges (Bemer kung, Zustand ...)	Ver wendung/ Ver wertungsweg
24	2	Schrauben Aussenspiegel	2	Torxschraubenzieher	Abschrauben	leicht	2	12	-	nein	Metall			türkis-blau angelaufen	Schrott
25	3	Modul: Aussenspiegel	1	Hand	Abnehmen	leicht	1	1133	Schraubverbindung und Steckverbindung	ja	Verbund-Modul			weiterzerlegt	Wiederverwendung
26	3	Abdichtung Spiegeldreieck	1	Hand	Abziehen - von Kabel	leicht	Werkbank	9	Steckverbindung	nein	PE	nein	-	nicht leserlich gekennz.	therm./rohstoff. Verwertung
27	1	Abdeckung Spiegel	1	Flachschraubenzieher klein	Aufbiegen	leicht	Werkbank	2	Steckverbindung	ja	ABS	nein	-		therm./rohstoff. Verwertung
28	3	Rest des Aussenspiegels	-	-	-	-	Werkbank	1122	-	ja	ASA/PC und Zn			Verbund-Modul plus Kabel	Shredder
29	2	Abdichtung Türbremse	1	Hand	Abnehmen	leicht	3	19	Steckverbindung	nein	Gummi				therm./rohstoff. Verwertung
30	1	Dichtung Türrahmen	1	Flachschraubenzieher groß und Hand	Abziehen (Klebeverbindung lösen)	leicht	2	266	Klebeverbindung	ja	EPDM	nein	-	-	therm./rohstoff. Verwertung
31	5	Mutten Fensterhebermodul	5	Steckschlüssel und Ratsche	Abschrauben	leicht	2	16	-	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
32	5	Schrauben Fensterhebermotor	3	Torxschraubenzieher	Abschrauben	leicht	2	10	-	nein	Metall			silberfarbig	Schrott
33	6	Fensterhebermotor	1	Hand	Abnehmen	leicht	2	610	Schraubverbindung	ja	Gehäuse: PBT GF30/20			Verbund-Modul: PBT und Metall (Motor)	Wiederverwendung
34	7, (5)	Schrauben Seitenverglasung	2	Steckschlüssel und Ratsche mit Verlängerung	Abschrauben	mittel	2	17	-	nein	Metall			Scheibe in Position bringen, silberfarbig bzw. schwarz	Schrott
35	8, (6)	Seitenverglasung	1	Hand	Herausnehmen - nach oben	leicht	5	3140	Schraubverbindung	nein	Glas	nein	-	weiterzerlegt	Wiederverw./ Glasrecycling
36	9, (7)	Clipse Seitenverglasung	2	Hand	Aufbiegen und Herausziehen	leicht	Werkbank	5	Steckverbindung	nein	Kunststoff				therm./rohstoff. Verwertung
37	9, (7)	Rest der Seitenverglasung	-	-	-	-	Werkbank	3135	-	ja	Glas	nein	-		Glasrecycling
38	6	Fensterhebermodul	1	Hand und Zange	Abklemmen (Seilzug lösen) und Herausnehmen	leicht	2	1190	Schraubverbindung	nein	Verbund-Modul			Metall eloxiert, Kunststoffe, Gummi	Wiederverwendung
39	1	Stecker Kabelstrang	1	Seitenschneider	Beißschneiden (Abwickeln von Kabel)	leicht	3	30	Steckverbindung	ja	Gehäuse: PBT GF10			Verbund: Gehäuse und Kabelreste	thermische Verwertung
40	2	Kabelkanal	1	Hand	Abziehen (von Kabelstrang)	leicht	3	57	Steckverbindung	ja	EPDM	nein	-		therm./rohstoff. Verwertung
41	3	Befestigungsrahmen Kabelkanal	1	Hand	Aufbiegen	leicht	Werkbank	12	Steckverbindung	ja	PA6 GF30	nein	-		PA6-Recycling
42	5	Kabelstrang	1	Seitenschneider und Hand	Beißschneiden (5 Kabel-binder) und Abklemmen (Stecker ziehen)	mittel	2	263	Kabelbinder und Stecker	nein				Kabel-Verbund	Kabelschrott
43	5	Bowdenzug	1	Hand	Aushängen	leicht	2	37	Steckverbindung	nein	Verbund-Modul			Kunststoff und Metall	Shredder
44	1	Schrauben Systemschloss	3	Torxschraubenzieher	Abschrauben	leicht	4	18	-	nein	Metall			silber-matt	Schrott
45	1	Abdeckung Montageloch	1	Flachschraubenzieher klein	Aufbiegen	leicht	4	2	Steckverbindung	nein	Kunststoff			Zweilig	therm./rohstoff. Verwertung
46	2	Schraube Türschloss	1	Inbusschlüssel und Ratsche	Abschrauben	schwer	4	5	-	nein	Metall			silber-matt	Schrott
47	3	Türschloss	1	Hand	Herausziehen	leicht	1	191	Schraubverbindung	nein	Verbund-Modul			Metall und Kunststoffgehäuse	Shredder
48	5	Systemschloss mit Betätigungs-lange	1	Hand	Herausnehmen (aus Türinnenraum)	leicht	2	751	Schraubverbindung	ja	Gehäuse: PBT + ASA, Stanzgitter: Cu/Zn 37			Verbund-Modul	Shredder
49	4	Türaussengriff	1	Hand	Herausziehen - aus Halterung	leicht	1	118	Steckverbindung	nein	PA6	nein	-	lackiert; Materialangabe lt. IDIS Plant Vers. 2.0.6	stoffliches Recycling
50	5	Dichtungen Türaussengriff	2	Hand	Abnehmen	leicht	1	4	eingelegt	ja	TPE				therm./rohstoff. Verwertung

Nomenklatur			Menge	Demontage				Gewicht	Eigenschaften						
Demontage-schritt	Demontage-ebene (DE)	Bezeichnung	Anzahl an demont. Teilen	verwendetes Werkzeug	Tr ennv er f ahren (nach DIN 8591/ 8588) Demont agev or gang	Demont ageauf wand leicht/ mittel/ schwer	Demont age-richtung	Masse [Gr amm]	Ver bindungstechnik	Kennzei chnung (ja/ nein)	Mat er i al/ ver bund, Wer kst of f	deklar ationsp flichtig? [It. VDA 232-101]	gef ähr licher Abf all/ Schadst of f	Sonstiges (Bemer kung, Zustand ...)	Ver wendung/ Ver wer tungsweg
51	6	Schraube Träger-Türaussengriff	1	Torxschraubenzieher	Abschrauben	leicht	2	3	-	nein	Metall			silber-matt	Schrott
52	7	Träger-Türaussengriff	1	Hand	Herausnehmen (aus Türinnenraum)	leicht	2	148	Schraubverbindung	ja	PA6 GF60 und Metall			Verbund-Modul	Shredder
53	5	Clipse Türinnenseite	5	Flachschraubenzieher	Aufbiegen	leicht	2	18	Steckverbindung	nein	Metall	ja	Cr6		Schrott
54	5	Clipse Türinnenseite	4	Flachschraubenzieher	Aufbiegen	leicht	2	5	Steckverbindung	nein	Metall			silberfarbig	Schrott
55	1	Modul: Schachtabdeckung Aussen	1	Flachschraubenzieher groß und Hand	Aufbiegen und Herausziehen	leicht	5	164	Steckverbindung	nein	Verbund-Modul			weiterzerlegt	Shredder
56	2	Dichtung Schachtabdeckung Aussen	1	Hand	Abziehen	leicht	Werkbank	94	Steckverbindung	nein	Gummi und Stahleileger				Zementwerk
57	2	Blende Schachtabdeckung Aussen	-	-	-	-	Werkbank	70	-	nein	Metall verchromt			Rest	Schrott
58	7, (1)	Dichtung Fensterrahmen	1	Hand	Abziehen	leicht	1	699	Steckverbindung	ja	EPDM	nein	-	erst demontierbar, wenn Fenster unten	therm./rohstoff. Verwertung
59	8, (2)	Schrauben Blende B-Säule Aussen	3	Kreuzschraubenzieher	Abschrauben	leicht	1	4	-	nein	Metall			schwarz eloxiert	Schrott
60	9, (3)	Blende B-Säule Aussen	1	Hand	Abnehmen	leicht	1	419	Schraubverbindung	nein	Metall			schwarz eloxiert	Schrott
61	1	Leiste Türaussenhaut	1	Flachschraubenzieher groß und Hand	Aufbiegen und Abziehen	leicht	1	162	Steckverbindung	ja	PP/EPDM	nein	-		stoffliches Recycling
62	-	Rohbau	1	-	-	-	-	15950	-	-	Metall	-	-	Rest, Ende der Komplettdemontage	Schrott

Teile demontiert: **93** Stück

Masse demontiert: **30170** [Gramm]

Kommentar: Klammerwerte in DE bedeuten die DE, die sich bei richtig positionierter Seitenscheibe ergeben würden.

Wiegefehl **40** [Gramm]

Anmerkung: Hinterlegte Felder stellen Bauteile nach einer Weiterzerlegung von Modulen dar.

### 5.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

Bei der Auswertung der Daten aus den beiden obigen Demontage-Tabellen wird ein Vergleich der Türmodule angestellt, insbesondere wie weit die Produktstruktur sich verändert hat und wo die Unterschiede in den Mengenanteilen der einzelnen Werkstoff-Fractionen liegen.

Über die Bildung von verschiedenen Szenarien bei der Berechnung der Recyclingquoten der Türmodule (und der daraus resultierenden Kosten) ist approximativ eine „optimale Demontagetiefe“ ableitbar.

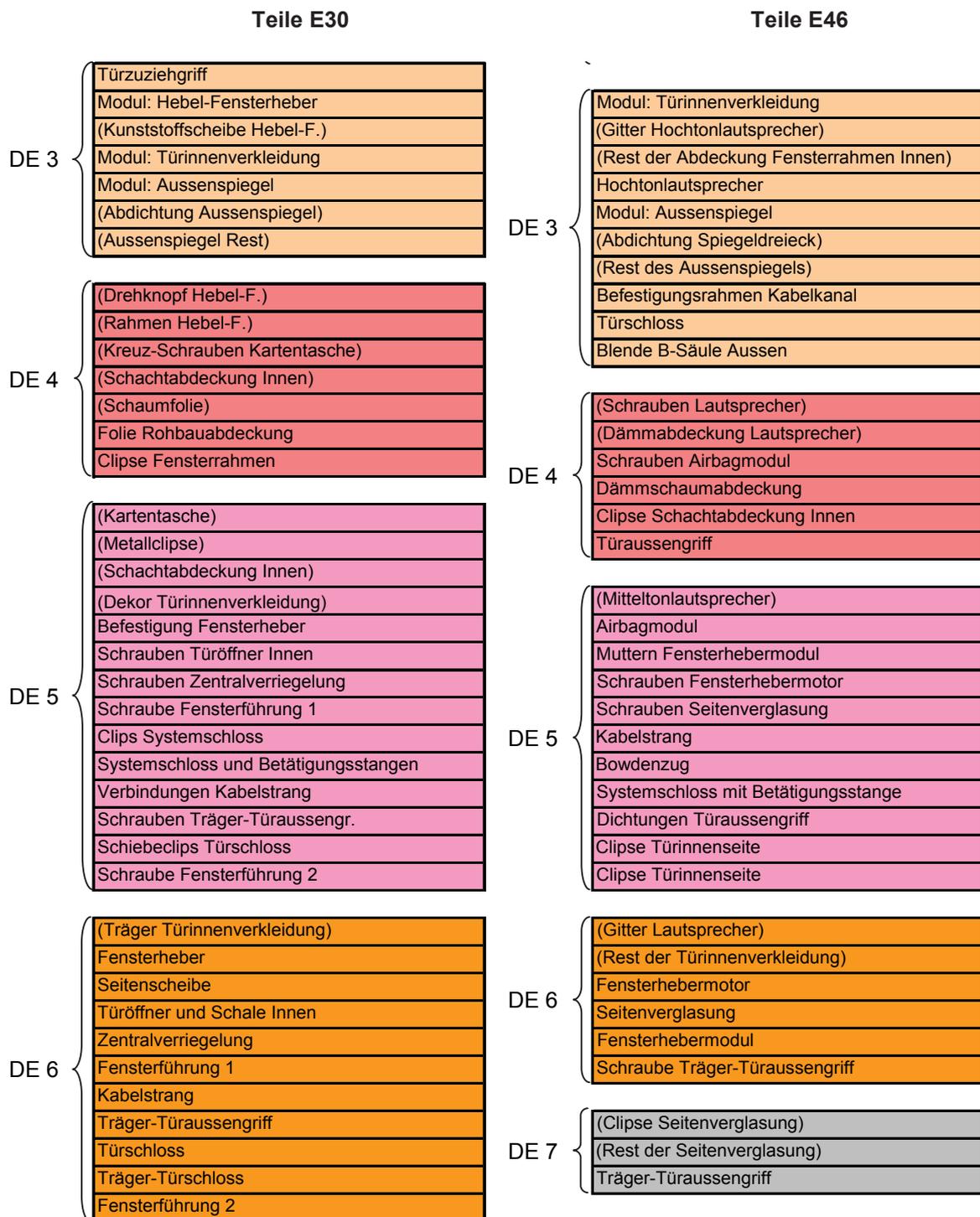
#### 5.3.1 Produktstruktur

Die folgende Tabelle 5.4 stellt die einzelnen Bauteile im E30-Türmodul den einzelnen Bauteilen im E46-Türmodul in den jeweiligen Demontageebenen (DE) gegenüber. Vergleicht man die beiden Module diesbezüglich ist festzustellen, dass sich in der Produktstruktur keine großen Veränderungen ergeben haben.

Tabelle 5.4: Bauteile gegliedert nach Demontageebenen im E30- und E46-Türmodul<sup>7)</sup>

	Teile E30		Teile E46
DE 1	Türgriff Abdeckung	DE 1	Abdeckungen
	Hebel-Fensterheber Abdeckung		Modul: Blendleiste Türinnenverkl.
	Rahmen Türöffner Innen		Schalter Fensterheber
	Abdichtung Türrahmen oben		Schachtabdeckung Innen
	Abdichtung Türbremse		Modul: Abdeckung Fensterrahmen Innen (Abdeckung Spiegel)
	Stecker Kabelstrang		Dichtung Türrahmen
	(Abdeckung Aussenspiegel)		Stecker Kabelstrang
	Schrauben Systemschloss		Schrauben Systemschloss
	Verkleidung B-Säule Innen		Abdeckung Montageloch
	Schrauben Türaussengriff		Modul: Schachtabdeckung Aussen
	Mutter Leiste-Türaussenhaut		Leiste Türaussenhaut
	Schachtabdeckung Aussen		Dichtung Fensterrahmen
	Blende Fensterrahmen Unten Aussen		
	Blende B-Säule Aussen		
	Blende Fensterrahmen Oben Aussen		
DE 2	Kreuz-Schrauben Türzuziehgriff	DE 2	(Metallstifte Blendleiste-Türinnenv.)
	Schraube Hebel-Fensterheber		(Blendleiste Türinnenverkl.)
	Kabelkanal		Schrauben Türinnenverkleidung
	Schrauben Aussenspiegel		(Abdichtung Hochtönlautsprecher)
	Türaussengriff		Schraube Hochtönlautsprecher
	Leiste-Türaussenhaut		Schrauben Aussenspiegel
	Clipse		Abdichtung Türbremse
	Dichtung Fensterrahmen		Kabelkanal
	Clipse Fensterrahmen		Schraube Türschloss
			(Dichtung Schachtabdeckung Aussen)
	(Blende Schachtabdeckung Aussen)		
	Schrauben Blende B-Säule Aussen		

<sup>7)</sup> Klammerwerte: (Bau-)Teile nach Weiterzerlegung von Modulen und Verbunden



Um die Struktur des Türmoduls besser abzubilden, werden Demontagegraphen erstellt, welche von oben nach unten zu lesen sind (siehe Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11). Erfolgt eine Weiterzerlegung eines bereits demontierten Bauteils (Moduls), wird dessen Struktur in der nächsten Hierarchie-Ebene abgebildet.

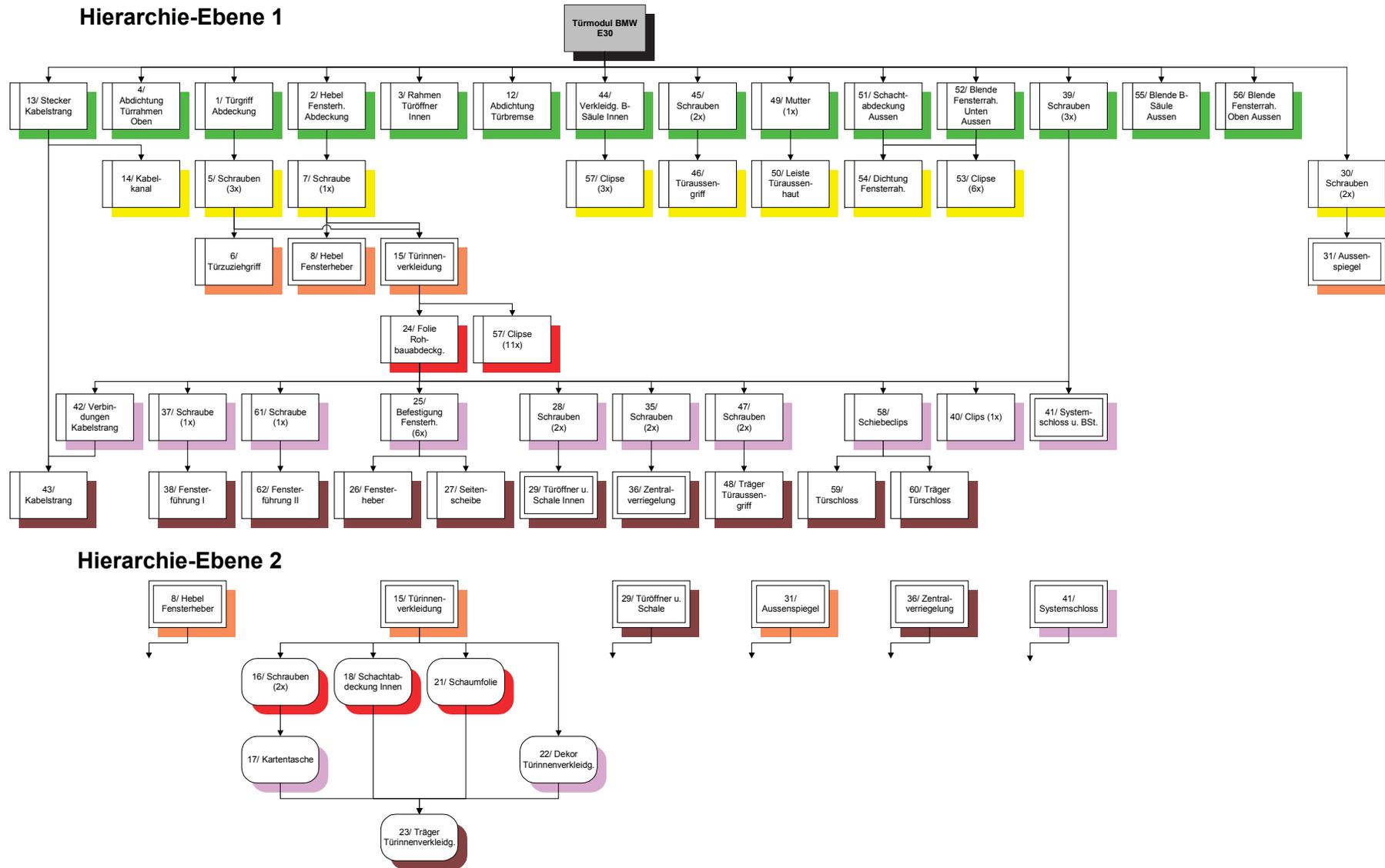


Abbildung 5.10: Demontagegraph für das BMW E30-Türmodul (Hierarchie-Ebenen 1 und 2)

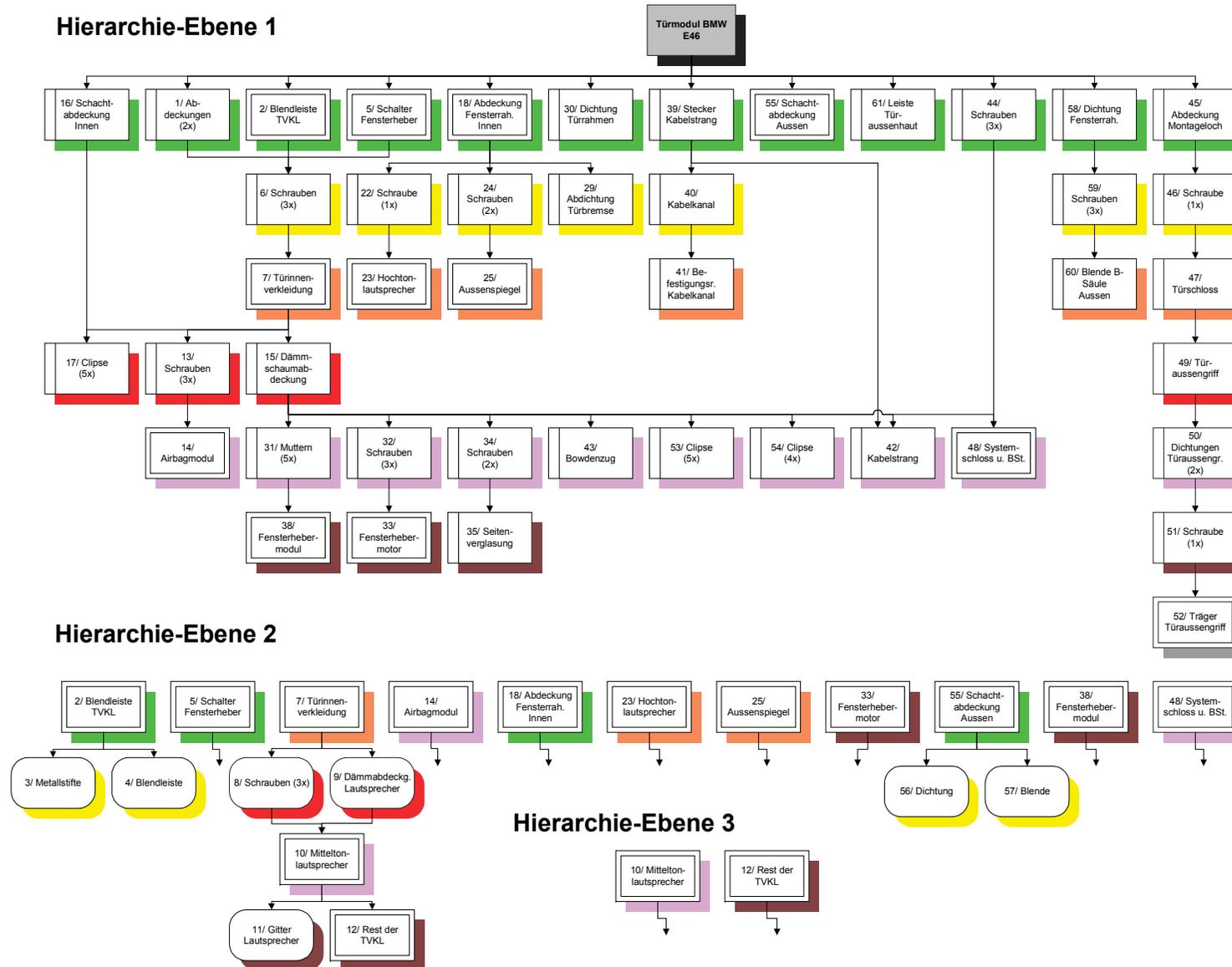


Abbildung 5.11: Demontagegraph des BMW E46-Türmoduls (Hierarchie-Ebenen 1, 2 und 3)

### 5.3.2 Recyclinggerechte Produktgestaltung

Im E46-Türmodul gibt es erheblich weniger Schraubverbindungen und mehr Clips- und Steckverbindungen als im E30-Türmodul. Weitere Unterschiede in der demontagegerechten Konstruktion sind darin zu finden, dass das E46-Türmodul über Materialkennzeichnung verfügt und weniger Werkzeugwechsel bei der Demontage erforderlich sind. Eine Gegenüberstellung der tendenziellen Veränderungen aus Sicht der recyclingorientierten Produktgestaltung (im Kapitel 4.2.3 beschrieben) ist der Tabelle 5.5 zu entnehmen.

Tabelle 5.5: Recyclingorientierte Gestaltung des E30- und E46-Türmoduls

Maßnahme	Türmodul E30	Türmodul E46
Funktional modularer Aufbau	wenige Module	verstärkt Modulbauweise
Horizontale Strukturen	kaum Unterschiede	
Leichte Demontage	ja	
kreislaufgeeignete Materialien	ja	
Vermeidung recyclingkritischer Stoffe	nein	ja
Kabelbäume und Elektrik leicht demontierbar	nein, viele Kabel-binder	nein, erst in tiefer Demontage-Ebene, leichter als beim E30
E-Motoren leicht demontierbar	keine E-Motoren	schwer, weil nicht zugänglich
Einheitl. Demontagerichtungen	größtenteils gegeben	
Standard-Werkzeug einsetzbar	ja	
elektromechanische Bauteile ohne Stromversorgung demontierbar	keine vorhanden	ja
Einfache Trockenlegung und Neutralisation	nicht nötig, keine Betriebsmittel/Pyrotechnik	ja, Airbagzündung über zentrale Auslösevorrichtung
Werkstoffliche Vereinheitlichung in Modulen	kaum feststellbar	teilweise, negativ: Türverkl. ist ein Vielstoff-Modul
Recyclingfähige Werkstoffe	ja: Stahl, Glas, ABS (lt. IDIS)	ja: Stahl, Glas, ABS, PA6GF
Materialverbunde verwertungsfähig	ja, mittels Shredder	ja, Shredder-Verwertung, stofflich und thermisch
Materialkennzeichnung	nein	ja
Verbindungselemente	viele	weniger, als beim E30
Vielfalt an Verbindungselementen	hoch	gering
vorrangig Schnapp- und Steckverbindungen	nein: viele Schraubverbindungen	ja
Schweiß-, Niet- u. Klebeverbindungen	ja	ja, jedoch weniger als im E30
Kunststoff-Rezyklateinsatz	nicht feststellbar	nein, keine Kennzeichnung vorhanden

### 5.3.3 Materialanteile und Fraktionen im Vergleich

Die einzelnen Bauteile, Werkstoffe und Materialien werden zur besseren Darstellung in Gruppen (Fraktionen) zusammengefasst, deren Massen innerhalb einer Fraktion addiert und so die Anteile der einzelnen Material-Fraktionen am gesamten Türmodul bestimmt. Die Resultate daraus sind in Abbildung 5.12 und Abbildung 5.13 dargestellt. Eine genaue Aufschlüsselung, wie die (Bau-)Teile den Fraktionen zugeteilt worden sind, findet sich im Anhang A.

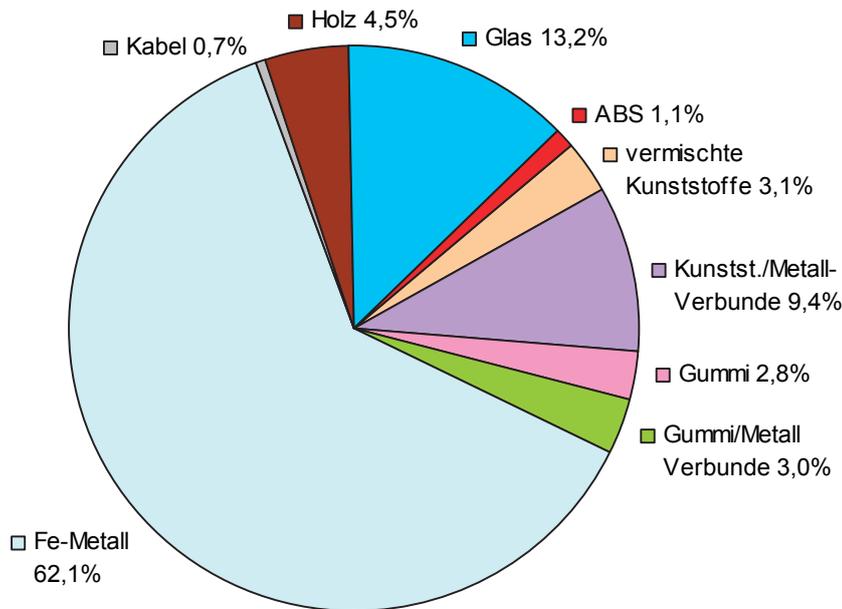


Abbildung 5.12: Fraktionen im E30-Türmodul

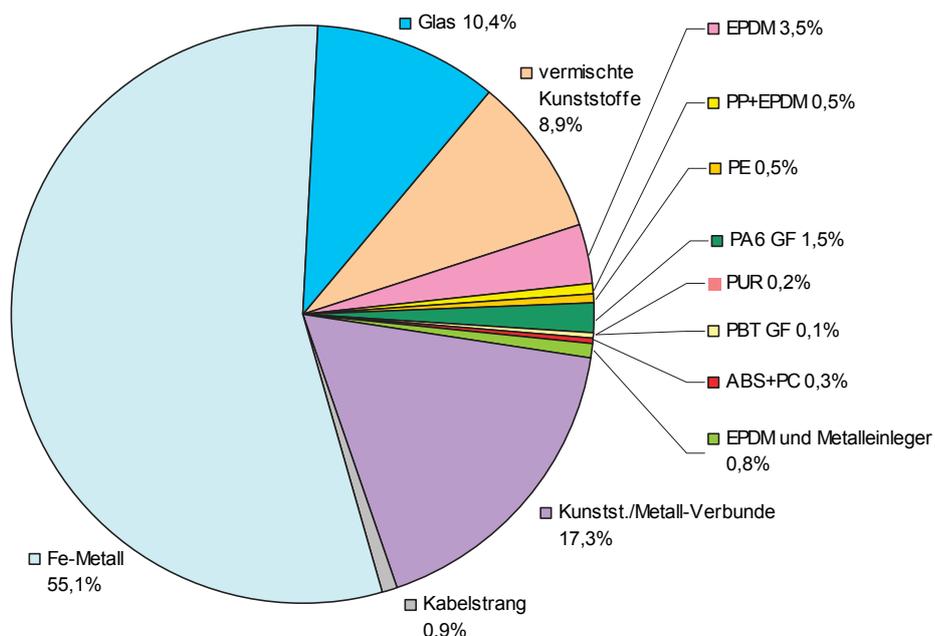


Abbildung 5.13: Fraktionen im E46-Türmodul

Aus den beiden Darstellungen ist ersichtlich, wie sich die relativen Werkstoffeinsätze bezogen auf die Masse innerhalb von einigen Jahren verändert haben, z. B. Kunststoffe sind stark angestiegen und der Metallanteil ist gesunken. Demgegenüber steht jedoch die Tatsache, dass sowohl die absolute Masse von metallischen als auch die absolute Masse von Kunststoffen gestiegen ist (das E30-Türmodul hat eine Masse von ca. 23 Kilogramm, wohingegen die Masse des E46-Türmoduls bei ca. 31 Kilogramm liegt). Dies beruht größtenteils auf die erhöhten sicherheitstechnischen Anforderungen (Airbags, Verstrebungen) und einem Anstieg an Komfort (elektrische Fensterheber etc.).

Durch komplexere Bauweise einzelner Bauteile im E46-Türmodul ist auch der Anteil an Verbunden aus Metall und Kunststoff etc. gestiegen, die nicht oder nur sehr schwer weiterzerlegbar sind. Ein Beispiel für einen nicht-weiterzerlegbaren Verbund ist in Abbildung 5.14 dargestellt. Durch die flächige Verklebung ist es nicht oder nur mit größtem Aufwand möglich, die Türinnenverkleidung in ihre verschiedenen Komponenten weiterzuzerlegen.



Abbildung 5.14: Kartentaschenverklebung Türinnenverkleidung (BMW E46)

Weiters ist festzustellen, dass die Zuordnung in verschiedene Werkstoff-Fractionen durch die Materialkennzeichnung der Bauteile (vor allem Kunststoffe) im E46-Türmodul viel genauer erfolgen konnte als beim E30-Türmodul. Da es bei der Baureihe E30 noch keine Materialkennzeichnung gab, kann heute nicht einfach (optisch etc.) bestimmt werden, welcher Kunststofffamilie die einzelnen Bauteile zuzuordnen sind. Dementsprechend ungenauer ist die Aufteilung in Fraktionen beim E30-Türmodul und dementsprechend geringer ist die stoffliche Verwertungsmöglichkeit dieser Bauteile.

Die stoffliche Verwertungsmöglichkeit der Kunststoffe eines Altfahrzeuges ist auch aus einem anderen Grund kritisch: Alte Kunststoffe sind fotochemisch und mechanisch in ihren Werkstoffeigenschaften beeinträchtigt (Qualitätsverlust). Daraus ergeben sich hohe Aufbereitungskosten, die sich nur bei technischen Kunststoffen mit hohen Neuwarepreisen rentieren. Das heißt, nur wenige Kunststoffe (vor allem im Nicht-Sicht-Bereich) sind nach einer Nutzungsdauer eines Fahrzeuges von durchschnittlich 13 Jahren als Rezyklat in den Wertstoffkreislauf rückführbar.

### 5.3.4 Materialverbot und deklarationspflichtige Stoffe

Das Problem „Materialverbot im Automobilbau“ ist relativ neu. Im Jahr 1990, Baujahr des BMW E30, gab es die Verbote für Schwermetalle noch nicht. Dementsprechend finden sich im E30-Türmodul eine Vielzahl an CrVI-beschichteten Bauteilen, wie Abbildung 5.15 zeigt. Mitte der Neunziger entstanden die ersten Umweltnormen der Fahrzeughersteller und freiwillige Vereinbarungen, das Auto umweltgerechter zu gestalten. Im Jahr 2000 wurde die EU-Richtlinie über Altfahrzeuge veröffentlicht, die das Materialverbot der Schwermetalle CrVI, Hg, Cd und Pb beinhaltet. Dazu wurde vom VDA eine Liste deklarationspflichtiger und verbotener Stoffe herausgegeben (VDA 232-101). Das E46-Türmodul (Abbildung 5.16) wurde 1997 fertigentwickelt und fällt daher nicht unter das Materialverbot der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge. Daher finden sich auch in dieser Tür Bauteile mit CrVI-Beschichtungen.



Abbildung 5.15: CrVI-Bauteile im Türmodul des BMW E30



Abbildung 5.16: CrVI-Bauteile im Türmodul des BMW E46

Bei heutigen Neuentwicklungen, wie dem BMW X3 (E83), ist das Materialverbot einzuhalten. Dementsprechend ergeben sich heute Umstellungen im Materialeinsatz. Alternativen zu CrVI, Hg, Pb und Cd sind einzusetzen. Weil dies technisch noch nicht überall möglich ist, gibt es Ausnahmen, die im Anhang 2 der EU-Richtlinie über Altfahrzeuge festgehalten sind. Der Nachweis betreffend die Einhaltung des Materialverbots wird über die Erstmusterprüfberichte der einzelnen Bauteile vom Hersteller erbracht.

### 5.3.5 Berechnung der Recyclingquoten

Die Berechnung der Recyclingquoten erfolgt nach ISO 22628, da alle internationalen Automobilhersteller nach der dort beschriebener Methodik vorgehen, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Um annähernd eine optimale Demontagetiefe zu erreichen, wurden verschiedene Szenarien angenommen. Es wurden jeweils die Aufwendungen und die Recycling- und Wiederverwertungsquoten für eine Komplettdemontage (die beim Versuch durchgeführt worden ist) und die Demontage der im IDIS vorgeschlagenen Bauteile ermittelt. Optional wird bei entdeckten Verbesserungsmöglichkeiten ein Szenario dafür erstellt.

Die errechneten Quoten sind streng auf das Türmodul bezogen. Es ist nicht möglich, die Quoten eines Moduls auf das gesamte Fahrzeug aufzurechnen, da jedes Modul eine eigenen Werkstoffverteilung besitzt. Es liegen also Module mit einer Recyclingquote unter und über der gesetzlichen Anforderungen vor. In Summe muss das in der Altfahrzeuge-Richtlinie geforderte Ziel für ein gesamtes Fahrzeug erreicht werden.

### 5.3.5.1 Recyclingquoten des BMW-E30-Türmoduls

Das erste Szenario beschreibt die Berechnung der Quoten unter Einhaltung der Angaben lt. IDIS Plant Version 2.0.6 (siehe Abbildung 5.17). Laut IDIS ist vom gesamten Türmodul die Seitenscheibe und die Türablage (Kartentasche) zu demontieren. Die Massenangaben vom IDIS für diese Bauteile decken sich ungefähr mit den im Versuch ermittelten Massen. Für die Berechnungen werden immer die im Versuch ermittelten Massen eingesetzt. Die folgende Tabelle 5.6 gibt die Daten und Ergebnisse zur Quotenberechnung nach IDIS Plant Version 2.0.6 wieder.

Tabelle 5.6: Quotenberechnung für das E30-Türmodul nach IDIS

Gruppe	Bauteil/Werkstoff/Verbund	[Gramm]	[Gew%]	Anm.	
mP	-	0	0,00%		Demontage und stoffl. Verwertung
mD	Seitenscheibe	3013	13,20%	IDIS 2.0.6 (Glas)	
	Kartentasche	247	1,08%	IDIS 2.0.6 (ABS)	
mTr	-	0	0,00%		
mM	Fe-Metall	14170	62,09%		Shredder
	Kunstst./Metall-Verbunde	1075	4,71%	(Hälfte*)	
	Kabel	82,5	0,36%	(Hälfte*)	
<b>Recyclingquote:</b>		<b>18587,5</b>	<b>81,45%</b>	<b>(Rcyc)</b>	
mTe	Holz	1033	4,53%		Shredder
	vermischte Kunststoffe	716	3,14%		
	Gummi	630	2,76%		
	Gummi/Metall-Verbunde	676	2,96%		
<b>Wiederverwertungsquote:</b>		<b>21642,5</b>	<b>94,84%</b>	<b>(Rcov)</b>	
mV		22820	100,00%		
Rest:	Kabel	82,5	0,36%	(Hälfte*)	Deponie/MVA
	Kunstst./Metall-Verbunde	1075	4,71%	(Hälfte*)	

\* Resultierend aus den Erkenntnissen des Demontageversuchs kann für die Quotenberechnung die Masse von Verbund-Bauteilen je zur Hälfte in Metalle und Nichtmetalle aufgeteilt werden.

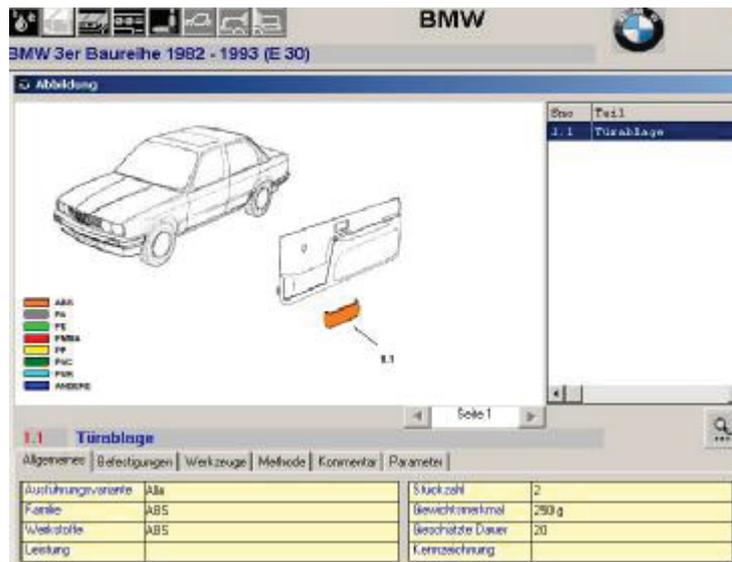


Abbildung 5.17: Screenshot der IDIS-Oberfläche für das E30-Türmodul (Stand: April 2002)

Das zweite Szenario beschreibt die Komplettdemontage, die jedoch in der Praxis nur schwer durchgeführt werden kann. Da es für die Untersuchungen in dieser Diplomarbeit jedoch ein Ziel ist, die technisch möglichen Quoten zu ermitteln, gibt Tabelle 5.7 Auskunft über die gewonnenen Ergebnisse der durchgeführten Komplettdemontage.

Tabelle 5.7: Quotenberechnung für eine Komplettdemontage des E30-Türmoduls

Gruppe	Bauteil/Werkstoff/Verbund	[Gramm]	[Gew%]	Anm.
mP	-	0	0,00%	IDIS 2.0.6
mD	Glas	3013	13,20%	
mTr	ABS	247	1,08%	IDIS 2.0.6
	Kabel	165	0,72%	
mM	Gummi/Metall-Verbunde	676	2,96%	Ersatzbrennstoff
	Gummi	630	2,76%	
	Fe-Metall	14170	62,09%	Schrotthändler
	Kunstst./Metall-Verbunde	1075	4,71% (Hälfte**)	
<b>Recyclingquote:</b>		<b>19976</b>	<b>87,54%</b>	<b>(Rcyc)</b>
mTe	vermischte Kunststoffe	716	3,14%	Mitverbrennung
	Holz	1033	4,53%	
	Kunstst./Metall-Verbunde	537,5	2,36% (Viertel**)	
<b>Wiederverwertungsquote:</b>		<b>22262,5</b>	<b>97,56%</b>	<b>(Rcov)</b>
mV		22820	100,00%	Deponie/MVA
Rest:	Kunstst./Metall-Verbunde	537,5	2,36% (Viertel**)	

\*\* Es wird angenommen, dass beim Shreddern und nachfolgender Klassierung und Auftrennung von Verbunden die Hälfte der gesamten Masse an Verbund-Bauteilen als Metalle und je ein Viertel zu thermisch verwertbaren Kunststoffen und nicht-weiterverwertbarem Restabfall anfallen.

Da die erreichten Quoten nach IDIS bereits zufriedenstellend ausgefallen sind – größer 80 Gew% Recyclingquote und beinahe 95 Gew% Wiederverwertbarkeitsquote – ist es nicht sinnvoll, zusätzlich zu Szenario 1 und Szenario 2 eine weitere Szenarienbildung durchzuführen. Es wird damit bereits die optimale Demontagetiefe unter Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Quoten erreicht.

### 5.3.5.2 Recyclingquoten des BMW-E46-Türmoduls

Im IDIS Plant Version 2.0.6 wird für das Türmodul des BMW E46 vorgeschlagen, Seitenscheibe und Türgriff zu demontieren. Dem folgend ergibt sich die Recycling- und Wiederverwertbarkeitsquote, dargestellt in Tabelle 5.8. Es werden wieder die im Versuch ermittelten Massen für die Berechnungen herangezogen.

Tabelle 5.8: Quotenberechnung für das E46-Türmodul nach IDIS

Gruppe	Bauteil/Werkstoff/Verbund	[Gramm]	[Gew%]	Anm.	
mP	-	0	0,00%		Demontage und stoffl. Verwertung
mD	Seitenverglasung	3135	10,38%	IDIS 2.0.6 (Glas)	
mM	Türaussengriff	118	0,39%	IDIS 2.0.6 (PA6)	
	Fe-Metall	16634	55,06%		
	Kunstst./Metall-Verbunde	2604	8,62%	(Hälfte*)	
	Kabelstrang	131,5	0,44%	(Hälfte*)	
<b>Recyclingquote:</b>		<b>22622,5</b>	<b>74,88%</b>	<b>(Rcyc)</b>	
mTr	Leiste Türaussenhaut	162	0,54%		Shredder
	Rest der Abdeckung Fensterrz	302	1,00%		
	Blendleiste Türinnenverkl.	94	0,31%		
mTe	vermischte Kunststoffe	2688	8,90%		
	EPDM	1041	3,45%		
	EPDM und Metalleinleger	250	0,83%		
<b>Wiederverwertungsquote:</b>		<b>27159,5</b>	<b>89,90%</b>	<b>(Rcov)</b>	
mV		30210	100,00%		
Rest:	Kabelrest, sonst. Kunstst.	359,5	1,19%		Deponie/MVA
	PA6 Rest	45	0,15%		
	Kunstst./Metall-Verbunde	2604	8,62%	(Hälfte*)	
		<u>3008,5</u>	<u>9,96%</u>		

\* Resultierend aus den Erkenntnissen des Demontageversuchs kann für die Quotenberechnung die Masse von Verbund-Bauteilen je zur Hälfte in Metalle und Nichtmetalle aufgeteilt werden.

Die folgende Tabelle 5.9 enthält die Ergebnisse der Quotenberechnung bei einer Komplettdemontage des Türmoduls.

Tabelle 5.9: Komplettdemontage des E46-Türmoduls

Gruppe	Bauteil/Werkstoff/Verbund	[Gramm]	[Gew%]	Anm.	
mP	-	0	0,00%	} stoffl. Verwertung	
mD	Glas	3135	10,38%		
	PP+EPDM	162	0,54%		
	PE	144	0,48%		
	PA6 GF	465	1,54%		
	PUR	54	0,18%		
	PBT GF	30	0,10%		
	ABS+PC	96	0,32%		
mTr	EPDM und Metalleinleger	250	0,83%		} Ersatzbrennstoff
	EPDM	1041	3,45%		
mM	Kabelstrang	263	0,87%	} Kabelverwertung (Cu) } Schrotthändler } Shredder	
	Fe-Metall	16634	55,06%		
	Kunstst./Metall-Verbunde	2604	8,62% (Hälfte**)		
<b>Recyclingquote:</b>		<b>24878</b>	<b>82,35%</b>	<b>(Rcyc)</b>	
mTe	vermischte Kunststoffe	2688	8,90%	} Mitverbrennung	
	Kunstst./Metall-Verbunde	1302	4,31% (Viertel**)		
<b>Wiederverwertungsquote:</b>		<b>28868</b>	<b>95,56%</b>	<b>(Rcov)</b>	
mV		30210	100,00%		
Rest:	Kunstst./Metall-Verbunde	1302	4,31% (Viertel**)	} Deponie/MVA	

\*\* Es wird angenommen, dass beim Shreddern und nachfolgender Klassierung und Auftrennung von Verbunden die Hälfte der gesamten Masse an Verbund-Bauteilen als Metalle und je ein Viertel zu thermisch verwertbaren Kunststoffen und nicht-weiterverwertbarem Restabfall anfallen.

Im dritten Szenario werden zusätzlich zu den im IDIS vorgeschlagenen Bauteilen weitere in oberster Demontageebene leicht zugängliche technische Kunststoffbauteile demontiert. Die so erhaltenen Quoten sind in Tabelle 5.10 präsentiert. Durch die zusätzliche Demontage der Türaußenhaut-Leiste, Fensterrahmenabdeckung und der Blendleiste auf der Türinnenverkleidung ergibt sich eine Steigerung der Recyclingquote auf knapp 77 Gew% (verglichen zum Szenario nach IDIS) bei einer Wiederverwertbarkeitsquote von ca. 90 Gew%.

Tabelle 5.10: Quoten bei optimaler Demontagetiefe

Gruppe	Bauteil/Werkstoff/Verbund	[Gramm]	[Gew%]	Anm.	
mP	-	0	0,00%	IDIS 2.0.6	Demontage und stoffl. Verwertung
mD	Seitenverglasung	3135	10,38%	(Glas)	
mTr	Türaussengriff	118	0,39%	IDIS 2.0.6 (PA6)	
	Leiste Türaussenhaut	162	0,54%	EPDM+PP	
	Rest der Abdeckung Fensterra	302	1,00%	PA6 GF	
mM	Blendleiste Türinnenverkl.	94	0,31%	ABS+PC	
	Fe-Metall	16634	55,06%		
	Kunstst./Metall-Verbunde	2604	8,62%	(Hälfte*)	
	Kabelstrang	131,5	0,44%	(Hälfte*)	
<b>Recyclingquote:</b>		<b>23180,5</b>	<b>76,73%</b>	<b>(Rcyc)</b>	Shredder
mTe	vermischte Kunststoffe	2688	8,90%		
	EPDM	1041	3,45%		
	EPDM und Metalleinleger	250	0,83%		
<b>Wiederverwertungsquote:</b>		<b>27159,5</b>	<b>89,90%</b>	<b>(Rcov)</b>	
mV		30210	100,00%		
<hr/>					
Rest:	Kabelrest, sonst. Kunstst.	359,5	1,19%		Deponie/MVA
	PA6 Rest	45	0,15%		
	Kunstst./Metall-Verbunde	2604	8,62%	(Hälfte*)	
		<u>3008,5</u>	<u>9,96%</u>		

\* Resultierend aus den Erkenntnissen des Demontageversuchs kann für die Quotenberechnung die Masse von Verbund-Bauteilen je zur Hälfte in Metalle und Nichtmetalle aufgeteilt werden.

Da weitere kreislaufgeeignete Bauteile in oberster Demontage-Ebene vorhanden sind, wird noch ein drittes Szenario gebildet, womit eine kleine Verbesserung der Quoten erzielt werden kann. Dass die Recyclingquote bei Komplettdemontage „nur“ 82 Gew% beträgt, statt der in der EU-RL 2000/53/EG bis 2015 geforderten 85 Gew%, begründet sich darin, dass in neuen Autotüren vermehrt Kunststoffe und Verbunde statt Stahl eingesetzt werden, die schwierig zu trennen und, wenn überhaupt, oft nur sehr kostenintensiv zu rezyklieren sind. Die rechtlich geforderten Recyclingquoten beziehen sich jedoch auf das Gesamtfahrzeug, also kann mit anderen Modulen die schlechtere Quote des Türmoduls wieder wettgemacht werden.

Verglichen mit dem Türmodul des BMW E30 ergibt sich eine Verschlechterung der Quoten. Obwohl Kennzeichnungen vorhanden und eine Verbesserung der Demontageeignung von Bauteilen erfolgt ist, ist das E46-Türmodul aus Sicht der Recyclingfähigkeit vergleichsweise schlechter einzustufen.

### 5.3.6 Kostenabschätzung und Kreislaufeignung

Damit die optimale Demontagetiefe angegeben werden kann (vgl. Abbildung 3.10), ist neben der Quotenberechnung eine Kosten- und Erlöse-Schätzung durchzuführen.

Zur monetären Bewertung des Recyclings, der Verwertung und Entsorgung der zerlegten Türmodule wurden Preise und Kosten für die einzelnen Werkstoffe und Materialfraktionen ermittelt. Eine genaue Aufschlüsselung der herangezogenen Daten für eine Kostenabschätzung findet sich im Anhang B.

Eine Kennzahl dafür, ob ein Bauteil recycling- und demontagefähig ist, stellt die Kreislaufeignung (KE) nach VDI 2243 dar, die bei dieser Kalkulation immer mitangegeben wird.

Zur Erklärung der Berechnung ist festzuhalten, dass Neuwarepreis und Deponiegebühr als Gutschrift in die Recyclingkostenabschätzung einfließen, also Erlöse darstellen.

#### 5.3.6.1 Kostensituation für das Recycling des E30-Türmoduls

Die Kosten für die zwei verschiedenen Szenarien sind in der Tabelle 5.11 angeführt. Daraus ist ersichtlich, dass eine Demontage nach IDIS gerade noch positiv ist, hingegen die Komplettdemontage nicht mehr wirtschaftlich ist.

Tabelle 5.11: Kosten und Erlöse für das Recycling des E30-Türmoduls

##### Szenario 1 (nach IDIS Plant Version 2.0.6)

Bauteil/Werkstoff/Verbund	Masse [Gramm]	Neuwarepreis [€]	Deponiegebühr [€]	Demontagekosten [€]	Aufbereitungskosten [€]	Logistikkosten [€]	Gesamtkosten/erlöse [€]	Kreislaufeignung	Zeit (geschätzt) [s]
Seitenscheibe	3013	0,45	0,00	-0,15	0,00	-0,42	-0,12	0,79	20,00
Kartentasche	247	0,46	0,04	-0,15	-0,32	-0,03	0,00	1,00	20,00
Fe-Metall	Shredder	19540	0,45	0,41	0,00	0,00	-0,41	0,45	2,08
Kunstst./Metall-Verbunde									
Kabel									
Holz									
vermischte Kunststoffe									
Gummi									
Gummi/Metall-Verbunde									
Kabel									
Kunstst./Metall-Verbunde									
	22800						<b>0,33</b>	<b>€/ Tür</b>	40,00

##### Szenario 2 (Komplettdemontage)

Annahme: halbe Demontagezeit der Gesamtzeit im Versuch

Bauteil/Werkstoff/Verbund	Masse [Gramm]	Neuwarepreis [€]	Deponiegebühr [€]	Demontagekosten [€]	Aufbereitungskosten [€]	Logistikkosten [€]	Gesamtkosten/erlöse [€]	Kreislaufeignung	Zeit (geschätzt) [s]
Glas	3013	0,45	0,00	0,00	0,00	-0,42	0,03	1,07	0,00
ABS	247	0,46	0,04	-0,14	-0,32	-0,03	0,01	1,03	18,47
Fe-Metall	14170	0,33	0,30	0,00	0,00	-0,30	0,33	2,08	0,00
Kabel	165	0,11	0,03	-0,09	-0,04	-0,02	-0,02	0,89	12,34
Holz	1033	0,00	0,16	-0,58	0,00	-0,14	-0,56	0,22	77,24
Kunstst./Metall-Verbunde	2150	0,00	0,34	-1,21	0,00	-0,30	-1,17	0,22	160,76
Gummi	630	0,09	0,10	-0,35	0,00	-0,09	-0,25	0,43	47,11
Gummi/Metall-Verbunde	676	0,10	0,11	-0,38	0,00	-0,09	-0,27	0,43	50,55
vermischte Kunststoffe	716	0,00	0,11	-0,40	0,00	-0,10	-0,39	0,22	53,54
	22800			-3,15			<b>-2,29</b>	<b>€/ Tür</b>	420,00

### 5.3.6.2 Kostensituation für das Recycling des E46-Türmoduls

Die Kostensituation für die drei Szenarien, welche für das E46-Türmodul berechnet worden sind, ist in Tabelle 5.12 wiedergegeben. Wiederum zeigt sich, dass eine Komplettdemontage wirtschaftlich nicht tragbar ist. Szenario 3 ist kostenmäßig die günstigste Variante.

Tabelle 5.12: Kosten und Erlöse für das Recycling des E46-Türmoduls

#### Szenario 1 (nach IDIS Plant Version 2.0.6)

Bauteil/Werkstoff/Verbund	Masse [Gramm]	Neuwarepreis [€]	Deponiegebühr [€]	Demontagekosten [€]	Aufbereitungskosten [€]	Logistikkosten [€]	Gesamtkosten/erlöse [€]	Kreislauf-eignung	Zeit (geschätzt) [s]
Seitenverglasung	3135	0,47	0,00	-0,15	0,00	-0,44	-0,12	0,80	20,00
Türaussengriff	118	0,28	0,02	-0,08	-0,15	-0,02	0,06	1,23	10,00
Leiste Türaussenhaut	Shredder 26915	0,62	0,57	0,00	0,00	-0,57	0,62	2,08	
Rest der Abdeckung									
Fensterrahmen Innen									
Blendleiste Türinnenverkl.									
Fe-Metall									
Kunstst./Metall-Verbunde									
Kabelstrang									
vermischte Kunststoffe									
EPDM									
EPDM und Metalleinleger									
Kabelrest, sonst. Kunstst.									
PA6 Rest									
Kunstst./Metall-Verbunde									
	30168						<b>0,56</b>	<b>€/ Tür</b>	30,00

#### Szenario 2 (Komplettdemontage)

Annahme: halbe Demontagezeit der Gesamtzeit im Versuch

Bauteil/Werkstoff/Verbund	Masse [Gramm]	Neuwarepreis [€]	Deponiegebühr [€]	Demontagekosten [€]	Aufbereitungskosten [€]	Logistikkosten [€]	Gesamtkosten/erlöse [€]	Kreislauf-eignung	Zeit (geschätzt) [s]
vermischte Kunststoffe	2688	0,00	0,42	-1,16	0,00	-0,38	-1,12	0,27	155,06
EPDM	1041	0,15	0,16	-0,45	-0,24	-0,15	-0,52	0,38	60,05
PP+EPDM	162	0,34	0,03	-0,07	-0,21	-0,02	0,07	1,23	9,35
PE	144	0,11	0,02	-0,06	-0,18	-0,02	-0,13	0,51	8,31
PA6 GF	465	1,11	0,07	-0,20	-0,60	-0,07	0,32	1,37	26,82
PUR	54	0,16	0,01	-0,02	-0,07	-0,01	0,07	1,67	3,12
PBT GF	30	0,09	0,00	-0,01	-0,04	0,00	0,04	1,66	1,73
ABS+PC	96	0,24	0,02	-0,04	-0,12	-0,01	0,08	1,45	5,54
EPDM und Metalleinleger	250	0,04	0,04	-0,11	-0,06	-0,04	-0,12	0,38	14,42
Kunstst./Metall-Verbunde	5208	0,00	0,82	-2,25	0,00	-0,73	-2,16	0,27	300,43
Kabelstrang	263	0,18	0,04	-0,11	-0,07	-0,04	0,01	1,03	15,17
Fe-Metall	16634	0,38	0,35	0,00	0,00	-0,35	0,38	2,08	0,00
Glas	3135	0,47	0,00	0,00	0,00	-0,44	0,03	1,07	0,00
	30170			-4,50			<b>-3,06</b>	<b>€/ Tür</b>	600,00

#### Szenario 3 (optimale Demontagetiefe)

Bauteil/Werkstoff/Verbund	Masse [Gramm]	Neuwarepreis [€]	Deponiegebühr [€]	Demontagekosten [€]	Aufbereitungskosten [€]	Logistikkosten [€]	Gesamtkosten/erlöse [€]	Kreislauf-eignung	Zeit (geschätzt) [s]
Seitenverglasung	3135	0,47	0,00	-0,15	0,00	-0,44	-0,12	0,80	20,00
Türaussengriff	118	0,28	0,02	-0,08	-0,15	-0,02	0,06	1,23	10,00
Leiste Türaussenhaut	162	0,34	0,03	-0,11	-0,21	-0,02	0,03	1,08	15,00
Rest der Abdeckung Fensterrahmen	302	0,72	0,05	-0,30	-0,39	-0,04	0,04	1,05	40,00
Blendleiste Türinnenverkl.	94	0,24	0,01	-0,04	-0,12	-0,01	0,08	1,48	5,00
Fe-Metall	Shredder 26357	0,61	0,56	0,00	0,00	-0,56	0,61	2,08	
Kunstst./Metall-Verbunde									
Kabelstrang									
vermischte Kunststoffe									
EPDM									
EPDM und Metalleinleger									
Kabelrest, sonst. Kunstst.									
PA6 Rest									
Kunstst./Metall-Verbunde									

## 5.3.7 Verbesserungspotenziale

### 5.3.7.1 Demontagesoftware

Um es Dritten leichter verständlich zu machen und da es für die weitere Verwendung von Ergebnissen als sinnvoll erachtet wird, die erhaltenen Daten geordnet abzubilden und auszuwerten, sollte eine Demontage-Software im Betrieb implementiert werden. Diese ermöglicht die Erstellung von Demontageanalysen für das gesamte Fahrzeug.

Ein Vorschlag für eine Demontage-Software ist das Programm „DemAP“ der Firma Tec4U Ingenieurgesellschaft mbH, die speziell auf diesem Bereich tätig ist. Laut Tec4U arbeiten renommierte Autokonzerne wie DaimlerChrysler und Volkswagen mit diesem Tool. Die Inhalte von DemAP sind in folgender Tabelle 5.13 zusammengefasst:

Tabelle 5.13: Input und Output der Demontagesoftware DemAP

Input	Output
Manuelle Datenerfassung	Visualisierung der konstruktiven und materialtechnischen Zusammenhänge
Bestehende Importfilter	Simulation von Recyclingstrategien zur Reduzierung der Kosten
Angepasste Importfilter	Übersicht über Produktdaten, z.B. Werkstoffe, Verbindungselemente
	Informationsbereitstellung für die Konstruktion
	Datenbereitstellung für IDIS (International Dismantling Information System)
	Datenbereitstellung für IMDS (Internationales Materialdatensystem)

### 5.3.7.2 Optimierung der recyclinggerechten Produktgestaltung

Da sich der BMW X3 (E83-Prototyp) derzeit bei Magna Steyr Fahrzeugtechnik in Entwicklung befindet, wird in dieser Arbeit neben der Altfahrzeugtür des BMW E30 und dem Türmodul des BMW E46 auch die Türverkleidung des BMW X3 auf recyclinggerechte Gestaltung untersucht. Es handelt sich bei dieser Türverkleidung um kein Serienbauteil, d.h. die Werkstoffe und Massen des vorliegenden Prototypen-Moduls sind nicht gleich, wie die in den Stücklisten für das Serien-Modul angeführten. Erst im Vorserienstatus werden die Prototypenbauteile in seriengleicher Ausstattung gefertigt. Das Türmodul ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit noch kein Vorserien-Modul. Daher wurde keine praktische Demontageanalyse der gesamten Tür durchgeführt.

Das Türmodul des BMW E46 ist in Hinblick auf das Modul des BMW E83 (X3) als „Vorgängermodell“ zu betrachten, da sich einige Teile aus dem 3er-BMW im BMW X3

wiederfinden. Als Vergleichsbeispiel aus dieser Prototypentür bietet sich die Türinnenverkleidung (ein Verbund-Bauteil) an. Verbessern muss sich vor allem die Verbindungstechnik, da flächige Klebeverbindungen und Schweißverbindungen auch beim E83 noch Standard sind und nicht zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit beitragen (siehe Abbildung 5.18).



Abbildung 5.18: Flächige Verklebung von Kunststoffteilen in der BMW E83-TVKL

Besser wäre es, streifen- oder punktförmig zu kleben, wenn aus diversen Gründen (z.B. Akustikprobleme durch vibrierende Teile) auf Kleben prinzipiell nicht verzichtet werden kann. Durch punkt- oder streifenförmiges Kleben sind folgende Vorteile gegeben:

- leichter lösbare Bauteile, da nur die Klebepunkte zu bearbeiten sind
- weniger Klebstoff verursacht weniger Kohlenwasserstoff-Emissionen
- weniger Klebstoffverbrauch bedeutet eine Kosteneinsparung

Noch besser ist es, die Türverkleidung möglichst aus Kunststoffen einer Familie zu konstruieren, wie es von Lear und Storopack in einem Gemeinschaftsprojekt für den Seat Arosa schon konzipiert worden ist. Das Konzept besteht darin, die gesamte Türverkleidung aus Polypropylen (PP) mit einem Partikelschaumstoff (EPP) als Träger zu fertigen, wie in Abbildung 5.19 zu sehen ist. Alle Teile der Türverkleidung bestehen aus Modifikationen von PP (PP, PO, EPP) und man kommt somit auf einen Masseanteil von 99% PP in der Türverkleidung [57, S. 229ff].

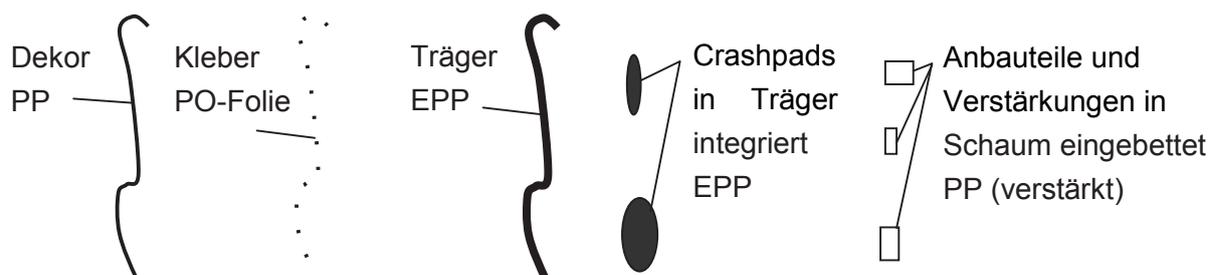


Abbildung 5.19: Schnitt durch die EPP-Türseitenverkleidung des Seat Arosa [57, S. 236]

Verbessert hat sich die Verbindungstechnik bei der Kartentasche des E83 (siehe Abbildung 5.20). Sie stellt einen großen Kunststoffbauteil (285 Gramm) aus ABS+PC dar und ist daher grundsätzlich kreislauff geeignet. Durch die Konstruktion (obere Demontageebene und einfach lösbare Verbindungstechnik durch Kunststoffschweißpunkte, die mittels Flachschaubenzieher aufgebrochen werden können) ist sie mit geringem Zeitaufwand demontierbar.



Abbildung 5.20: Demontierte Kartentasche des BMW E83 (Prototyp)

Ein weiteres Beispiel für positiv zu beurteilende Produktgestaltung ist die Blendleiste des Türzuziehgriffes, welche mit Metallclipsen leicht lösbar am Türzuziehgriff befestigt ist (siehe Abbildung 5.21). Da jedoch deren Masse unter 100 Gramm liegt und wirtschaftliches Recycling dadurch nicht möglich ist, ist eine Demontage und weitere stoffliche Verwertung nur bedingt zu empfehlen.



Abbildung 5.21: Metallclipse an der TVKL des BMW X3

### 5.3.7.3 IDIS

Die Aufnahme weiterer kreislaufgeeigneter Bauteile aus dem BMW E46-Türmodul ist empfehlenswert. Aus der Szenarienbildung zur Berechnung der Recyclingquoten und zugehörigen Kosten und Erlösen ist ableitbar, dass es sinnvoll wäre, zusätzlich zum vorgeschriebenen Türgriff noch weitere Kunststoffbauteile zu demontieren:

- Abdeckung Fensterrahmen Innen (Masse: 300 Gramm, Material: PA6 GF) in Demontageebene 1 (vgl. Abbildung 5.11)
- Blendleiste TVKL (Masse: 100 Gramm, Material: ABS+PC) in Demontageebene 1 (vgl. Abbildung 5.11)

Für das Türmodul des BMW E83, wenn es in dieser Form bestehen bleibt, wäre eine Aufnahme zumindest folgender Bauteile in das IDIS sinnvoll:

- Kartentasche (Masse: 285 Gramm, Material: ABS+PC)
- Seitenverglasung (Masse: 2700 (hinten) bzw. 3300 Gramm (vorne), Material: Glas)
- Griffschale mit Griffbügel (Masse: 160 Gramm, Material: PA 6 GF 40)
- Türöffner mit Schale (Masse: 100 Gramm, Material: PA6 GF) ist kreislaufgeeignet und durch eine Steckverbindung leicht demontierbar (siehe Abbildung 5.22)



Abbildung 5.22: Demontierter Türöffner mit Schale des BMW E83

Beim Türmodul des BMW E30 sind keine weiteren Bauteilen in das IDIS aufzunehmen, da nicht mehr viele Fahrzeuge dieses Typs angemeldet sind. Ein weiterer wichtiger Grund ist, dass die erreichten Quoten bereits zufriedenstellend sind, wenn nach dem Vorschlag im IDIS demontiert wird.

## 6 Zusammenfassung

Die Diplomarbeit „Recycling- und Demontageuntersuchungen an Türmodulen im Automobilbau“ wurde bei Magna Steyr Fahrzeugtechnik in der Entwicklungs-Abteilung „Fahrzeugeigenschaften“, Gruppe „Recycling“ erstellt, um praktische Erfahrungen im Bereich Altfahrzeuge-Recycling und Demontageanalyse zu erlangen.

Die Grundlagen der Arbeit basieren in rechtlicher Hinsicht auf der EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge und der dazu verfassten Altfahrzeugverordnung in Österreich. Diese wurden im Grundlagenteil zusammengefasst und interpretiert.

Die recyclinggerechte Produktentwicklung mit dazu veröffentlichten internationalen Normen und Standards verschiedener Hersteller, Recyclingkonzepte und Verwertungsprozesse, sowie die eingesetzten Werkstoffe im Automobilbau bilden den technischen Hintergrund. Diesbezüglich wurde eine Normenrecherche mit anschließender Gegenüberstellung der Inhalte durchgeführt. Dabei wurde besonders auf die Anforderungen an die recyclinggerechte Konstruktion eingegangen.

Um den Status-Quo des Altfahrzeuge-Recycling festzustellen, wurden der Ist-Stand und Stand der Technik des Recyclings von Altfahrzeugen erhoben. Darüber hinaus wurden Verwertungswege für die einzelnen Werkstoffe eines Fahrzeuges ausgearbeitet.

Unter Berücksichtigung der rechtlichen und technischen Anforderungen wurden im Versuchsteil Türmodule des Herstellers BMW auf ihre Recyclingfähigkeit hin untersucht. Im Rahmen einer Komplettdemontage der BMW-Türen wurde eine Demontageanalyse auf Bauteilebene durchgeführt.

Die Demontageanalyse umfasst eine Bestimmung der Produktstruktur, Materialzusammensetzung und Verbindungstechnik der Türmodule. Zur besseren Darstellung der Versuchsergebnisse wurden Demontagegraphen angefertigt. Abschließend erfolgte die Berechnung von Recyclingquoten mit begleitender Kostenabschätzung für verschiedene Szenarien. Durch die Bildung mehrerer Szenarien ist es möglich, sich an eine optimale Demontagetiefe anzunähern.

Nach 63 Demontageschritten wurde die E30-Tür (Baujahr: 1990) bis auf den Rohbau (reiner Metallkörper) demontiert. Dabei sind 104 (Bau-)teile gelöst worden. Verglichen dazu kommt man bei der E46-Tür (Baujahr: 1997) auf 62 Demontageschritte und muss 93 (Bau-)teile lösen, um als Resultat den reinen Rohbau zu erhalten.

Die Zeit der reinen Demontagetätigkeiten lag für die E30-Tür bei ca. 14 Minuten (Komplettdemontage). Dieser Wert ergab sich aus der Länge des aufgenommenen und auf die Demontagehandgriffe geschnittenen Demontagevideos. Dem gegenüber standen 20 Minuten Demontagezeit für eine Komplettdemontage des E46-Türmoduls.

Der relative Werkstoffeinsatz bezogen auf die Masse hat sich stark verändert; die Masse an Kunststoffen ist stark angestiegen und der Metallanteil ist gesunken. Demgegenüber steht jedoch die Tatsache, dass sowohl die absolute Masse von metallischen als auch die absolute Masse von Kunststoffen gestiegen ist (das E30-Türmodul hat eine Masse von ca. 23 Kilogramm, wohingegen die Masse des E46-Türmoduls bei ca. 31 Kilogramm liegt). Dies beruht größtenteils auf erhöhten sicherheitstechnischen Anforderungen (Airbags, Verstrebungen) und einem Anstieg an Komfort (elektrische Fensterheber etc.).

Im E46-Türmodul gab es erheblich weniger Schraubverbindungen und mehr Clips- und Steckverbindungen als im E30-Türmodul. Weitere Unterschiede in der demontagegerechten Konstruktion waren darin zu finden, dass das E46-Türmodul über Materialkennzeichnung verfügte und weniger Werkzeugwechsel bei der Demontage erforderlich waren.

Durch komplexere Bauweise einzelner Bauteile im E46-Türmodul ist auch der Anteil an Verbunden aus Metall und Kunststoff etc. gestiegen, die nicht oder nur sehr schwer weiterzerlegbar sind. Das hatte einen negativen Einfluß auf die Recyclingquoten und Wiederverwertbarkeitsquoten.

Die Ergebnisse aus Recycling- und Demontageuntersuchungen müssen immer wieder in die Produktentwicklung neuer Türen einfließen. Daher wurden für den BMW X3, derzeit bei Magna Steyr Fahrzeugtechnik in Entwicklung, Verbesserungsvorschläge in der recyclinggerechten Konstruktion abgeleitet.

In der recyclinggerechten Konstruktion muss sich vor allem die Verbindungstechnik verbessern, da flächige Klebeverbindungen und Schweißverbindungen auch beim E83 noch Standard sind. Noch besser wäre, die Türverkleidung möglichst aus Kunststoffen einer Familie zu konstruieren (Einwerkstoffsystem).

## Literatur

- [1] Schmidt, Joachim (Hrsg.); Leithner, Reinhard (Hrsg.): *Automobilrecycling; stoffliche, rohstoffliche und thermische Verwertung bei Automobilprodukten und Altautorecycling*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1995. – ISBN 3-540-58945-7
- [2] Gruden, D.: *Umweltschutz in der Automobilindustrie; Unterlagen zur Vorlesung*. Wien, Stuttgart: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 1998
- [3] Rat der Europäischen Union (Hrsg.): *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge*. Amtsblatt Nr. L 269/34 vom 21.10.2000. Brüssel: Europäische Union, September 2000
- [4] N., N.: *EU zur Altfahrzeugverwertung*. In: Zeitschrift E.L.B.W. (Energie, Luft, Boden und Wasser) Umwelttechnik. Wien: Lisey-Verlag, 2001, Heft 1.
- [5] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): *Vorblatt und Erläuterungen zur Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugeverordnung)*. Wien: 3. April 2002
- [6] Staber, Wolfgang: *Schulungsunterlagen: Recycling in der Automobilindustrie*. Leoben: MUL, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED), 2001
- [7] Schenk, Martin: *Altautomobilrecycling - Technisch-ökonomische Zusammenhänge und wirtschaftspolitische Implikationen*. Wiesbaden: TU Darmstadt, Diss., Gabler-Verlag, 1998. – ISBN 3-8244-6826-3
- [8] Hackenberg, Ulrich; Grubel, Hartmut: *Kunststofftechnik im Automobilbau – quo vadis?*. In: Verein Deutscher Ingenieure, Gesellschaft Kunststofftechnik (Hrsg.): *Jahrbuch 2001*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001. – ISBN 3-18-401645-5
- [9] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): *ENTWURF: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altfahrzeugen (Altfahrzeugeverordnung)*. Wien: 3. April 2002

- [10] International Organisation for Standardization (Hrsg.): *Norm ISO 22628 - Road Vehicles – Recyclability and recoverability – Calculation method*. Genf: ISO, 2002
- [11] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *VDI-Norm 2243; Recyclingoptimierte Produktentwicklung*. Berlin: Beuth Verlag, Dezember 2000
- [12] Löhr, Karsten et. al.: *Aufbereitungstechnik, Recycling von Produktionsabfällen und Altprodukten*. München, Wien: Hanser, 1995. – ISBN 3-446-18261-6
- [13] International Dismantling Information System (Hrsg.): *IDIS Plant Version 2.0.2, CD-Rom*. Idis 2 Consortium, 2000
- [14] International Organization for Standardization (Hrsg.): *Norm ISO 1176 – Road Vehicles – Masses - Vocabulary and Codes*. Genf: ISO, 1990
- [15] Wirtschaftskammer Österreich (Hrsg.): *Umweltverträgliches Alt-PKW-Recycling, Berichtsjahr 1998*. Wien: <http://www.wko.at>, Stand 2002
- [16] Gisberts, Ludger ;Hilf , Juliane: *Kreislaufwirtschaft Altkraftfahrzeuge, Altkraftfahrzeugverordnung und Freiwillige Selbstverpflichtung – Rechtsfragen und praktische Umsetzung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1998. – ISBN 3-503-04394-2
- [17] Rat der Europäischen Union (Hrsg.): *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; Richtlinie 70/156/EWG – Betriebserlaubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger*. Amtsblatt Nr. L42 vom 23.02.1970. Brüssel: Europäische Union, 1970
- [18] Rat der Europäischen Union (Hrsg.): *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften; Entscheidung der Kommission vom 27. Juni 2002 zur Änderung des Anhangs 2 der Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge*. Amtsblatt Nr. L 170/81 vom 29.06.2002. Brüssel: Europäische Union, Juni 2002
- [19] Essenpreis, Marcus: *Umsetzung der EU-Altfahrzeug-Richtlinie*. In: *Tagungsunterlagen: Recycling in der Automobilindustrie, EU-Altfahrzeugrichtlinie und zukünftige Anforderungen an die Hersteller/Zulieferer/Entsorger*. Cogresszentrum Leoben: Montanuniversität, Außeninstitut, 20. Juni 2002
- [20] Europäische Kommission, Ausschuss für die Anpassung der EG-Abfallgesetzgebung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt (Hrsg.): *Entwurf einer*

- Kommissionsentscheidung zur Änderung von Anhang 2 der Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge.* Brüssel: 19.04.2002
- [21] Wirtschaftskammer Österreich, Abteilung für Umweltpolitik (Hrsg.): *Umweltverträgliches Alt-PKW-Recycling, Berichtsjahr 2000.* Wien: April 2001, <http://www.wko.at>, Stand 2002
- [22] Schwarzer, Stefan (Leiter Abteilung Umweltpolitik, WKÖ): *Präsentation: Die Altfahrzeugverwertung in Österreich in Hinblick auf die rechtliche Umsetzung der EU-RL über Altfahrzeuge 2000/53/EG.* Wien: WKÖ, Email im Oktober 2001
- [23] Keri, Christian: Vortrag: RL 2000/53/EG über Altfahrzeuge, Geplante Umsetzung in Österreich. In: Tagungsunterlagen: Recycling in der Automobilindustrie, EU-Altfahrzeugrichtlinie und zukünftige Anforderungen an die Hersteller/Zulieferer/Entsorger. Congresszentrum Leoben: Montanuniversität, Außeninstitut, 20. Juni 2002
- [24] Keri, Christian: *Email-Korespondenz vom 10. April 2002.* Wien: BMLFUW, 2002
- [25] Wirtschaftskammer Österreich: *Email-Nachricht an Klade Martin (SFT).* Wien: Mittwoch, 05. Juni 2002, <http://fahrzeug@wko.at>
- [26] Kiesgen, Gerrit: *Entwicklung von ökologisch und ökonomisch effizienten Recycling- und Demontagestrategien für komplexe technische Gebrauchsgüter.* Bochum: Ruhr-Universität Bochum, Institut für Arbeitswissenschaft, Diss., Brockmeyer, 1996. – ISBN 3-8196-0444-8
- [27] Antrekowitsch, Helmut: *NE-Metall-Recycling in der Kfz-Industrie.* In: Zeitschrift BHM (Berg- und hüttenmännische Monatshefte). Wien, New York: Springer, 2001, Heft 5, 146. Jg.
- [28] Krone, Klaus (verantwortlich); Verein deutscher Schmelzhütten e.V. (Hrsg.): *Aluminiumrecycling, vom Vorstoff bis zur fertigen Legierung.* Düsseldorf : Aluminium-Verlag, 2000. – ISBN 3-00-003839-6
- [29] Rink, Carsten: *Aluminium, Automobil und Recycling, Forschungsbericht.* Düsseldorf: Aluminium-Verlag GmbH, 1994. – ISBN 3-87017-240-1
- [30] Kepplinger, Werner L.: *Skriptum: Thermische Abfallbehandlung 2001.* Leoben: Montanuniversität Leoben, Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes (VTIU), 2001

- [31] Hofer, Dietmar; Kerschbaum, Thomas et al.: *Projekt-Recycling-Technologie, LV-Nr. 500308, Kfz-Recycling*. Leoben: Montanuniversität Leoben, Institut für Nichteisenmetallurgie, Jänner 2002
- [32] Antrekowitsch, Helmut; Hanko, G.: *Metallurgie des Leichtmetallrecyclings bei Altautos unter Berücksichtigung der gesetzlichen Rahmenbedingungen*. In: *Tagungsunterlagen: Recycling in der Automobilindustrie, EU-Altfahrzeuigrichlinie und zukünftige Anforderungen an die Hersteller/Zulieferer/Entsorger*. Cogresszentrum Leoben: Montanuniversität, Außeninstitut, 20. Juni 2002
- [33] Antrekowitsch, Helmut: *Skriptum: Metallrecycling 2001*. Leoben: MUL, Institut für Nichteisenmetallurgie (NEM), 2001
- [34] Brandrup, Johannes (Hrsg.) et. al.: *Die Wiederverwertung von Kunststoffen*. München, Wien: Hanser-Verlag, 1995. – ISBN 3-446-17412-5
- [35] Büchler, Johann: *Technology Study, AFZ-Verwertung, Verwertung kompletter AFZ, Stand der Technik - September 2001, für den Betriebsstandort Laxenburg*. Kapitel 3. Laxenburg: voestalpine Rohstoffhandel GmbH, 03.12.2001.
- [36] Arbeitsgemeinschaft (ARGE) Altauto (Hrsg.): *1. Monitoringbericht – Berichtszeitraum 1. April 1998 bis 31. März 2000*. Frankfurt: <http://www.arge-altauto.de>, Stand: Mai 2002
- [37] Bürgler, Thomas: *Automobil im Werkstoffkreislauf. Die EU-Richtlinie Altauto aus Sicht des Werkstoff-, Komponenten- und Systemherstellers voestalpine*. In: *Tagungsunterlagen: Recycling in der Automobilindustrie, EU-Altfahrzeuigrichlinie und zukünftige Anforderungen an die Hersteller/Zulieferer/Entsorger*. Cogresszentrum Leoben: Montanuniversität, Außeninstitut, 20. Juni 2002
- [38] Wolters, Leo (Hrsg.) et al.: *Kunststoff-Recycling - Grundlagen - Verfahren – Praxisbeispiele*. München , Wien: Hanser, 1997. – ISBN 3-446-18264-0
- [39] Steinhilper, R.; Friedel, A.: *Ökologische, ökonomische und technische Grenzen der stofflichen Verwertung von Produktions- und Verwertungsrückständen*. In: Schmidt, Joachim (Hrsg.); Leithner, Reinhard (Hrsg.): *Automobilrecycling; stoffliche, rohstoffliche und thermische Verwertung bei Automobilprodukten und Altautorecycling*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1995. – ISBN 3-540-58945-7
- [40] Jungbauer, Anton: *Recycling von Kunststoffen*. 1. Auflage. Würzburg: Vogel Verlag, 1994. – ISBN 3-8023-1512-X

- [41] Mast, Peter et al.: *Ressourcenschonung durch Recycling von Kunststoffbauteilen aus Automobilen*. In: Verein Deutscher Ingenieure, Gesellschaft Kunststofftechnik (Hrsg.): *Kunststoffe im Automobilbau – Anwendung und Wiederverwertung*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991. – ISBN 3-18-234150-2
- [42] Volkswagen AG (Hrsg.): *Zentralnorm VW 91102, Umweltnorm Fahrzeug, Fahrzeugteile, Werkstoffe, Betriebsstoffe. Beiblätter 1, 2, 3*. VW AG, Seat S.A., Skoda automobilova, Audi AG, 1996
- [43] Renken, Martin: *Nutzung recyclingorientierter Bewertungskriterien während des Konstruierens*. Göttingen: Diss., Cuvillier, 1996. – ISBN 3-89588-555-X
- [44] Graser, Klemens; Hooch, Reinhard; Urth, Daniela: *Fachbeitrag: Innovative Recyclinglösungen bei Kunststoffkomponenten*. In: VDI/K (Hrsg.): *Kunststoffe im Automobilbau: Tagung Mannheim, 5. und 6. April 2000 / VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2000. – ISBN 3-18-234224-X
- [45] Beitz, Wolfgang; Grote, Karl H.: *Taschenbuch für den Maschinenbau / Doppel*. 19., völlig Neubearb. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. – ISBN 3-540-62467-8
- [46] Pfleger, Claus (Recyclingspezialist bei BMW in München): *Gespräch über Altfahrzeuge-Recycling am 25. Juni 2002, von 12:40 bis 13:45, im Verwaltungsgebäude Süd der Magna Steyr Fahrzeugtechnik in Graz*. BMW AG
- [47] Kuhne, Reinhard: *Fachbeitrag: ADEMA - Das Komplettangebot für die rationelle Autodemontage*. Hanau: LSD Umwelt- und Recyclingtechnologie GmbH, <http://www.lsd-gmbh.com>, Stand: Mai 2002
- [48] Hartel, Marko : *Kapitel 3.3.6: Kennzahlenbasierte Bewertung der Demontage- und Recyclingeignung*. In : Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) : *Umweltgerechte Produktentwicklung, Ein Leitfaden für Entwicklung und Konstruktion*. Berlin, Wien, Zürich : Beuth, 2000. – ISBN 3-410-14512-5
- [49] Heschke, Peer; Käufer, Helmut (Hrsg.): *Demontage von Klebeverbindungen für eine praktikablere Instandhaltung und ein optimiertes Recycling*. Berlin: Diss., TU Berlin, Kunststofftechnikum, 1995. – ISBN 3-7983-1663-5
- [50] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *Richtlinie VDI 2243, Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte, Grundlagen und Gestaltungsregeln*. In:

- Rink, Carsten: *Aluminium, Automobil und Recycling, Forschungsbericht*. (Anhang I.) Düsseldorf: Aluminium-Verlag, 1994. – ISBN 3-87017-240-1
- [51] BMW AG (Hrsg.): *Werknorm BMW N 113 99.0, Recycling von Kraftfahrzeugen, Recyclingoptimierte Fahrzeugkonstruktion*. München: BMW AG, Dezember 1997
- [52] Daimler-Benz AG (Hrsg.): *Norm MBN 10183, Recyclingoptimierte Fahrzeugkonstruktion*. Stuttgart: Daimler-Benz AG, Mai 1997
- [53] BMW Group (Hrsg.): *Handbuch zur recyclingoptimierten Produktentwicklung, Kapitel 5: Ermittlung der RecyclingEinstufung*. München: BMW AG, Februar 2000
- [54] General Motors Corp. (Hrsg.): *Norm GMW3116, Recyclability/Recoverability Design Guide*. North American Engineering Standards, Records and Documentation, Dezember 2000
- [55] Avantaneo, Silvia: *Email-Kontakt vom 22.05.2002*. [silvia.avataneo@fiat.com](mailto:silvia.avataneo@fiat.com), FIAT Auto S.P.A.
- [56] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): *Fertigungsverfahren, Normen, 2. Trennen, Zerteilen, Spanen, Abtragen, Zerlegen, Reinigen*. 1. Auflage. Berlin, Köln: Beuth, 1986. – ISBN 3-410-11920-5
- [57] Hummel, Heiko; Köck, Gerhard: *EPP – eine Alternative im Automobil*. In: Verein Deutscher Ingenieure, Gesellschaft Kunststofftechnik (Hrsg.): *Jahrbuch 2001*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001. – ISBN 3-18-401645-5

## Verwendete Abkürzungen/Begriffe

a	Jahr
abh.	abhängig
AFZ	Altfahrzeug
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
ausg.	ausgegeben
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMLFUW	Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
DVO	Deponieverordnung
EG	Europäische Gemeinschaft
et al.	et altera
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
ev.	eventuell
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
GJ	Gigajoule
ges.	gesamt
Gew%	Gewichtsprozent
GewO	Gewerbeordnung
Hrsg.	Herausgeber
IDIS	International Dismantling Information System

inkl.	inklusive
ISO	International Organisation for Standardization
KE	Kreislaufeignung
KFG	Kraftfahrgesetz
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
lt.	laut
mind.	mindestens
NE	Nichteisen
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannt
od.	oder
PKW	Personenkraftwagen
Rcyc	Recyclingquote
Rcov	Wiederverwertbarkeitsquote
RL	Richtlinie
RQ	Recyclingquote
S.	Seite
s.	siehe
SFT	Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG u. Co KG
sg.	sogenannt
SLF	Shredderleichtfraktion
t	Tonne
u.	und
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen

unterschiedl.	unterschiedlich
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
VDA	Verein Deutscher Automobilhersteller
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
vH.	von Hundert
VO	Verordnung
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
z.Z.	zur Zeit

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Spannweite der Materialzusammensetzung von Pkw .....	5
Tabelle 1.2: Energie und Abfallbilanz eines Automobils .....	6
Tabelle 2.1: Überblick zur Quotendefinition .....	11
Tabelle 2.2: Von § 4 ausgenommene Werkstoffe und Bauteile .....	14
Tabelle 2.3: Zielvorgaben bei der Altfahrzeugbehandlung.....	16
Tabelle 2.4: Unterschiede zwischen EU-Richtlinie und österreichischer Verordnung .....	27
Tabelle 2.5: Normen und Richtlinien zum Altfahrzeug-Recycling.....	28
Tabelle 3.1: Zusammensetzung einer typischen Shredderleichtfraktion .....	35
Tabelle 3.2: Demontagekonzepte .....	40
Tabelle 4.1: Zielkonflikte zwischen Anforderungsbereichen im Automobilbau .....	45
Tabelle 4.2: Konstruktionsaspekte im Recycling nach Produktdetaillierungsgrad .....	47
Tabelle 4.3: Verbindungselemente und Demontierbarkeit .....	50
Tabelle 4.4: Herstellerstandards für das Fahrzeugrecycling .....	51
Tabelle 4.5: Inhalt der Herstellernormen .....	52
Tabelle 4.6: Bewertungsmatrix zur Recyclingklassenbestimmung .....	53
Tabelle 4.7: Unterschiede in der Quotenberechnung .....	55
Tabelle 5.1: Werkzeug, Arbeitsbereich und Dokumentation bei der Türendemontage.....	59
Tabelle 5.2: Demontageschritte des BMW E30 Türmoduls, Baujahr 1990 .....	65
Tabelle 5.3: Demontageschritte des BMW E46 Türmoduls, Baujahr 1997 .....	68
Tabelle 5.4: Bauteile gegliedert nach Demontageebenen im E30- und E46-Türmodul .....	71
Tabelle 5.5: Recyclingorientierte Gestaltung des E30- und E46-Türmoduls .....	75
Tabelle 5.6: Quotenberechnung für das E30-Türmodul nach IDIS .....	80
Tabelle 5.7: Quotenberechnung für eine Komplettdemontage des E30-Türmoduls.....	81
Tabelle 5.8: Quotenberechnung für das E46-Türmodul nach IDIS .....	82

---

Tabelle 5.9: Komplettdemontage des E46-Türmoduls.....	83
Tabelle 5.10: Quoten bei optimaler Demontagetiefe.....	84
Tabelle 5.11: Kosten und Erlöse für das Recycling des E30-Türmoduls.....	85
Tabelle 5.12: Kosten und Erlöse für das Recycling des E46-Türmoduls.....	86
Tabelle 5.13: Input und Output der Demontagesoftware DemAP .....	87

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Fahrzeuglebenszyklus .....	4
Abbildung 1.2: Trend des Kunststoffeinsatzes im Vergleich zu Stahl .....	7
Abbildung 2.1: Aufbereitungstechnik Recyclingprozess .....	11
Abbildung 2.2: Meilensteine in der Umsetzung der EU-RL 2000/53/EG .....	17
Abbildung 2.3: Flächendeckende Verteilung von Shredderanlagen und KFZ-Betrieben mit Beitrittserklärung zur freiwilligen Vereinbarung in Österreich.....	19
Abbildung 3.1: Stoffliches Recycling – Einflusskriterien .....	29
Abbildung 3.2: Gliederung der Recyclingformen .....	29
Abbildung 3.3: Schema der Altfahrzeugeverwertung .....	30
Abbildung 3.4: Verfahrensschritte und Verwertungswege beim Kraftfahrzeug-Recycling ....	30
Abbildung 3.5: Shredderanlage mit Aufbereitung .....	32
Abbildung 3.6: Schema für das Al-Recycling .....	33
Abbildung 3.7: Recyclingkaskade und Verwertungsmöglichkeiten von Kunststoffen .....	37
Abbildung 3.8: Altfahrzeuge-Recycling nach dem Stand der Technik .....	38
Abbildung 3.9: Das Autos im Recyclingkreislauf.....	39
Abbildung 3.10: Ermittlung einer wirtschaftlich sinnvollen Demontagetiefe .....	42
Abbildung 4.1: Recyclingdreieck .....	43
Abbildung 4.2: Recyclingaspekte im Produktentwicklungsprozess .....	44
Abbildung 4.3: horizontale/vertikale Strukturen im Demontagegraph .....	47
Abbildung 5.1: Typische Bewegungsfolge in der Demontage .....	56
Abbildung 5.2: Fertigungsverfahren Trennen .....	57
Abbildung 5.3: Demontagebereich .....	58
Abbildung 5.4: Verwendetes Werkzeug bei der Türdemontage .....	59
Abbildung 5.5: Produkt-Struktur-Graph .....	61

Abbildung 5.6: Hierarchieebenen bei der Modulzerlegung .....	61
Abbildung 5.7: Teileverbindungsgraph zur Baustrukturdarstellung .....	62
Abbildung 5.8: definierte Demontagerichtungen .....	63
Abbildung 5.9: Montagegestell mit Türmodulen des BMW E30 und BMW E46 .....	64
Abbildung 5.10: Demontagegraph für das BMW E30-Türmodul .....	73
Abbildung 5.11: Demontagegraph des BMW E46-Türmoduls .....	74
Abbildung 5.12: Fraktionen im E30-Türmodul .....	76
Abbildung 5.13: Fraktionen im E46-Türmodul .....	76
Abbildung 5.14: Kartentaschenverklebung mit Türinnenverkleidung (BMW E46) .....	77
Abbildung 5.15: CrVI-Bauteile im Türmodul des BMW E30 .....	78
Abbildung 5.16: CrVI-Bauteile im Türmodul des BMW E46 .....	79
Abbildung 5.17: Screenshot der IDIS-Oberfläche für das E30-Türmodul .....	81
Abbildung 5.18: Flächige Verklebung von Kunststoffteilen in der BMW E83-TVKL .....	88
Abbildung 5.19: Schnitt durch die EPP-Türseitenverkleidung des Seat Arosa .....	88
Abbildung 5.20: Demontierte Kartentasche des BMW E83 (Prototyp) .....	89
Abbildung 5.21: Metallclipse an der TVKL des BMW X3 .....	89
Abbildung 5.22: Demontierter Türöffner mit Schale des BMW E83 .....	90

## Anhang

### Inhalt

<b>ANHANG A : ZUORDNUNG DER DEMONTIERTEN BAU-/TEILE IN DIE JEWEILIGEN FRAKTIONEN .....</b>	<b>107</b>
Türmodul des BMW E30.....	107
Türmodul des BMW E46.....	109
<b>ANHANG B : KOSTEN UND ERLÖSE FÜR RECYCLING UND DEMONTAGE IM AUTOMOBILBAU .....</b>	<b>112</b>
<b>ANHANG C: PHOTODOKUMENTATIONEN ZUM DEMONTAGEVERSUCH.....</b>	<b>118</b>
Demontage eines BMW-E30-Türmoduls .....	118
Demontage eines BMW-E46-Türmoduls .....	126
<b>ANHANG D : DEMONTAGEFILM.....</b>	<b>132</b>
<b>ANHANG E : ANPASSUNG DER ANHÄNGE II A UND II B DER EU-RICHTLINIE 75/442/EWG ÜBER ABFÄLLE (96/350/EG).....</b>	<b>133</b>

## Anhang A : Zuordnung der demontierten Bau-/teile in die jeweiligen Fraktionen

### Türmodul des BMW E30

Die folgende Tabelle 14 gibt alle beim Demontageversuch gewonnenen Bauteile mit Materialangabe und zugehöriger Masse wieder. Aus dieser Tabelle wird das Fraktionenmodell erstellt.

Tabelle 14: Fraktionenzuteilung beim BMW E30-Türmodul

Bezeichnung	Material	Masse [g]
Türgriff Abdeckung	Kunststoff	3
Hebel-Fensterheber Abdeckung	Kunststoff	3
Rahmen Türöffner Innen	Kunststoff	10
Abdichtung Türrahmen oben	Gummi	175
Kreuz-Schrauben Türzuziehgriff	Metall	14
Türzuziehgriff	Kunststoff und Metall	544
Schraube Hebel-Fensterheber	Metall	5
Modul: Hebel-Fensterheber	Verbund-Modul	
Kunststoffscheibe Hebel-F.	Kunststoff	1
Drehknopf Hebel-F.	Kunststoffverb.	15
Rahmen Hebel-F.	Metall	63
Abdichtung Türbremse	Gummi	19
Stecker Kabelstrang	Kunststoff + Cu	19
Kabelkanal	Gummi	46
Modul: Türinnenverkleidung	Verbund-Modul	
Kreuz-Schrauben Kartentasche	Metall	19
Kartentasche	ABS	247
Schachtabdeckung Innen	Verbund	
Metallclipse	Metall	27
Schachtabdeckung Innen	Gummi und Metall	164
Schaumfolie	Kunststoff	132
Dekor Türinnenverkleidung	Kunststofftextil	408
Träger Türinnenverkleidung	Hartfaserplatte	1033
Folie Rohbauabdeckung	Kunststoff	78
Befestigung Fensterheber	Metall	30
Fensterheber	Metall	1017
Seitenscheibe	Glas	3013
Schrauben Türöffner Innen	Metall	9

Schrauben Aussenspiegel	Metall		6
Modul: Aussenspiegel	Verbund-Modul		
Abdichtung Aussenspiegel	Gummi		39
Abdeckung Aussenspiegel	Kunststoff		5
Aussenspiegel Rest	Verbund		723
Schrauben Zentralverriegelung	Metall		5
Zentralverriegelung	Verbund-Modul		129
Schraube Fensterführung 1	Metall		6
Fensterführung 1	Metall		175
Schrauben Systemschloss	Metall		19
Clips Systemschloss	Kunststoff	-	
Systemschloss und Betätigungsstangen	Verbund-Modul		543
Verbindungen Kabelstrang	Kunststoff	-	
Kabelstrang	Kabel-Verbund		146
Verkleidung B-Säule Innen	Kunststoff		60
Schrauben Türaussengriff	Metall		4
Türaussengriff	Metall		44
Schrauben Träger-Türaussengr.	Metall		9
Träger-Türaussengriff	Metall		282
Mutter Leiste-Türaussenhaut	Kunststoff		1
Leiste-Türaussenhaut	Gummi und Metall		411
Schachtabdeckung Aussen	Gummi und Metalleinleger		101
Blende Fensterrahmen Unten Aussen	Metall		102
Clipse	Metall		22
Dichtung Fensterrahmen	Gummi		351
Blende B-Säule Aussen	Metall		231
Blende Fensterrahmen Oben Aussen	Metall		103
Clipse Fensterrahmen	Metall		13
Schiebeclips Türschloss	Metall		9
Türschloss	Kunststoff und Metall		81
Träger-Türschloss	Metall und Kabelrest		80
Schraube Fensterführung 2	Metall		6
Fensterführung 2	Metall		160
Rohbau	Metall		11790
	Masse demontiert:		22800

Aus diesen Bauteilen werden die folgenden Fraktionen (siehe Tabelle 15) des E30-Türmoduls zusammengefasst:

Tabelle 15: Zusammengefasste Fraktionen des E30-Türmoduls

Fraktionen des E30:	Fraktion	Masse [g]	Gew%
	vermischte Kunststoffe	716	3,14%
	Kunstst./Metall-Verbunde	2150	9,43%
	Gummi	630	2,76%
	Gummi/Metall-Verbunde	676	2,96%
	Fe-Metall	14170	62,15%
	Kabel	165	0,72%
	Holz	1033	4,53%
	Glas	3013	13,21%
	ABS	247	1,08%
	Masse demontiert:	22800	100,00%

## Türmodul des BMW E46

Die Tabelle 16 gibt alle demontierten Bauteile mit zugehöriger Material- und Massenangabe wieder.

Tabelle 16: Bauteile des E46-Türmoduls zur Fraktionenerstellung

Bezeichnung	Material	Masse [g]
Abdeckungen	Kunststoff	2
Modul: Blendleiste Türinnenverkl.	ABS+PC, Metallstifte	
Metallstifte Blendleiste-Türinnenv.	Aluminium	6
Blendleiste Türinnenverkl.	ABS+PC	94
Schalter Fensterheber	Gehäuse: PA6 GF30	33
Schrauben Türinnenverkleidung	Metall	17
Modul: Türinnenverkleidung	Verbund-Modul	
Schrauben Lautsprecher	Metall	5
Dämmabdeckung Lautsprecher	PUR	54
Mitteltonlautsprecher	Rahmen: PA6 GF30	419
Gitter Lautsprecher	Kunststoff	25
Rest der Türinnenverkleidung	Verbund	2650
Schrauben Airbagmodul	Metall	19
Airbagmodul	Verbund-Modul	701
Dämmschaumabdeckung	PE	129
Schachtabdeckung Innen	EPDM und Stahleinleger	156
Clipse Schachtabdeckung Innen	Metall	27
Modul: Abdeckung Fensterrahmen Innen	PA6 GF15	

Abdichtung Hochtonlautsprecher	PE	6
Gitter Hochtonlautsprecher	Metall	7
Rest der Abdeckung Fensterrahmen Innen	PA6 GF15	302
Schraube Hochtonlautsprecher	Metall	6
Hochtonlautsprecher	Rahmen: PA6 GF30	39
Schrauben Aussenspiegel	Metall	12
Modul: Aussenspiegel	Verbund-Modul	
Abdichtung Spiegeldreieck	PE	9
Abdeckung Spiegel	ABS	2
Rest des Aussenspiegels	ASA/PC und Zn	1122
Abdichtung Türbremse	Gummi	19
Dichtung Türrahmen	EPDM	266
Muttern Fensterhebermodul	Metall	16
Schrauben Fensterhebermotor	Metall	10
Fensterhebermotor	Gehäuse: PBT GF30/20	610
Schrauben Seitenverglasung	Metall	17
Seitenverglasung	Glas	
Clipse Seitenverglasung	Kunststoff	5
Rest der Seitenverglasung	Glas	3135
Fensterhebermodul	Verbund-Modul	1190
Stecker Kabelstrang	Gehäuse: PBT GF10	30
Kabelkanal	EPDM	57
Befestigungsrahmen Kabelkanal	PA6 GF30	12
Kabelstrang	Kabel	263
Bowdenzug	Verbund-Modul	37
Schrauben Systemschloss	Metall	18
Abdeckung Montageloch	Kunststoff	2
Schraube Türschloss	Metall	5
Türschloss	Verbund-Modul	191
Systemschloss mit Betätigungsstange	Gehäuse: PBT + ASA, Stanzgitter: Cu/Zn 37	751
Türaussengriff	PA6	118
Dichtungen Türaussengriff	TPE	4
Schraube Träger-Türaussengriff	Metall	3
Träger-Türaussengriff	PA6 GF60 und Metall	148
Clipse Türinnenseite	Metall	18
Clipse Türinnenseite	Metall	5
Modul: Schachtabdeckung Aussen	Verbund-Modul	
Dichtung Schachtabdeckung Aussen	Gummi und Stahleinleger	94
Blende Schachtabdeckung Aussen	Metall verchromt	70

Dichtung Fensterrahmen	EPDM	699
Schrauben Blende B-Säule Aussen	Metall	4
Blende B-Säule Aussen	Metall	419
Leiste Türaussenhaut	PP/EPDM	162
Rohbau	Metall	15950
	Masse demontiert:	30170

Daraus werden die Fraktionen des E46-Türmoduls abgeleitet und wie folgt in Tabelle 17 zusammengefasst:

Tabelle 17: Zusammengefasste Fraktionen des E46-Türmoduls

Fraktionen des E46:	Fraktion	Masse [g]	Gew%
	vermischte Kunststoffe	2688	8,91%
	EPDM	1041	3,45%
	PP+EPDM	162	0,54%
	PE	144	0,48%
	PA6 GF	465	1,54%
	PUR	54	0,18%
	PBT GF	30	0,10%
	ABS+PC	96	0,32%
	EPDM und Metalleinleger	250	0,83%
	Kunstst./Metall-Verbunde	5208	17,26%
	Kabelstrang	263	0,87%
	Fe-Metall	16634	55,13%
	Glas	3135	10,39%
	Masse demontiert:	30170	100,00%

## Anhang B : Kosten und Erlöse für Recycling und Demontage im Automobilbau

Die folgende Tabelle 18 gibt die herangezogenen Daten über Kosten und Erlöse für das Recycling im Automobilbau wieder. Die Herkunft der Werte ist durch die Überschriften zitiert.

Tabelle 18: Kosten und Erlöse für das Recycling

**Schenk, Martin : Altautomobilrecycling 1997 S. 65, S. 164**

Deponiegebühren für SLF	Österreich	100,0 bis	191,4 €/Tonne
	Deutschland	107,5 bis	473,1 €/Tonne
	Schweden	7,5 bis	86,0 €/Tonne
Altautowrack-Ankaufspreise	Österreich	-10,8 bis	10,8 €/Tonne
	Deutschland	0,0 bis	107,5 €/Tonne
	Schweden		21,5 €/Tonne

**Bayer - Vortrag Leoben, Juni 2002 - Raßhofer, Werner : Der zukünftige Einsatz von Kunststoffen im Auto unter der Berücksichtigung der Forderungen der Europäischen Altautoverordnung.**

Kunststoff-Recyclingkosten

Transport	50,0 €/Tonne
händische Sortierung	150,0 €/Tonne
Zerkleinerung (Schredder od. Mühle)	230,0 €/Tonne
Entstaubung, Entmetallisierung	100,0 €/Tonne
Homogenisierung	100,0 €/Tonne
Entlackung (nasschemisch)	300,0 €/Tonne
Regranulierung	300,0 €/Tonne
Qualitätsendprüfung	100,0 €/Tonne

**Homepage: <http://www.muellex.com> - Entsorgungspreisliste 2002 (Bezirk Weiz, Feldbach, Fürstenfeld, Graz-Umgebung). St. Margareten a. d. R. : Müllex Umwelt- Säuberung- Ges.m.b.H. Stand : Juni 2002**

Mannstunde	28,0 €/Stunde
Wiegegebühr	8,0 €/Wiegung
Blech, Schrott	22,0 €/Tonne
Ölhaltige Betriebsmittel	700,0 €/Tonne
Altöle, Hydrauliköle, halogenfrei	130,0 €/Tonne
PKW-Reifen ohne Felgen	1,9 €/Stück
PKW-Reifen mit Felgen	4,0 €/Stück
Autobatterien	0,0 €

**Homepage: <http://www.wue-rg.de> - Preisliste Entsorgung. Würzburger Recycling GmbH 2000**

Gewerbeabfall zur Verwertung	178,9 €/Tonne
Schrott, Metalle	0,0 €/Tonne
Metalle mit Fremdanhaftung	127,8 €/Tonne
PE/PP-Folien, sauber	0,0 €/Tonne
Kunststoffe, ohne Fremdanhaftung	112,5 €/Tonne
Flachglas (Autoglas)	97,1 €/Tonne
Elektronikschrott	511,2 bis 715,7 €/Tonne
Hg-Dampflampen, Na-Dampflampen	1,0 €/Stück
PKW-Reifen ohne Felgen	1,5 €/Stück
PKW-Reifen mit Felgen	2,3 €/Stück
PVC-Bodenbeläge	127,8 €/Tonne

**Homepage: <http://www.luechow-dannenberg.de/~Gebdeponie> Gebühren für die Entsorgung von Abfällen auf der Deponie Woltersdorf (August 2001)**

Verwertung

Altmetall (<50 kg)	0,0 €/Tonne
Altmetall (>50 kg)	20,5 €/Tonne
PKW-Altreifen ohne Felge	4,1 €/Stück
PKW-Altreifen mit Felge	5,1 €/Stück
Flachglas ohne Rahmung, sortenrein	0,0 €/Tonne
Kunststofffolien, sauber	184,1 €/Tonne
Papier/Pappe	112,5 €/Tonne

Deponierung

Gewerbeabfall	112,5 €/Tonne
Vermischter Gewerbeabfall mit Wertstoffen	383,0 €/Tonne
Leichtabfälle (Dichte < 0,15 t/m³)	409,0 €/Tonne
Abfälle vermischt mit betriebsgefährdenden Stoffen (LM, Farben, ...)	613,0 €/Tonne

Sonderabfall

Ölverschmutzte Betriebsmittel	0,7 €/kg
Ölfilter	0,3 €/kg
Bleiakkumulatoren	0,0 €/kg
Altöle	0,7 €/kg
Batterien, Hg-hältig	19,8 €/kg
Transformatoren, Kondensatoren, PCB-hältig	3,5 €/kg

**Homepage: <http://www.hannover.de> (Hannover online - Verkehr & Umwelt - Abfall & Recycling - AWB Hannover - Gebühren) Preisliste Sonderabfallzwischenlager Deponie Hannover 08/2000**

Metalleballagen mit schädlichen Restinhalten	1,0 €/kg
Ölfilter	1,1 €/kg
Bleiakkumulatoren	0,7 €/kg
Hg-, Na-Dampflampen, Halogenlampen	0,7 €/Stück
Relais, Schalter, Hg, Thermometer, Messeinrichtungen	6,8 €/kg
Kondensatoren, PCB-hältige Erzeugnisse/Betriebsmittel	2,8 €/kg
Altöl	0,7 €/kg
ölverunreinigte Betriebsmittel	1,1 €/kg
Kühlfüssigkeiten (Glykole)	0,9 €/kg
Bremsflüssigkeiten (Glykolether)	0,9 €/kg
Kunststoffemballagen mit gefährlichen Restinhalten	1,1 €/kg

**Richtwerte aus der BMW-Norm 113 99.0 (Stand 1997)**

Entsorgung	Deponie	204,5 bis	306,7 €/Tonne	
	thermische Behandlung	306,7 bis	409,0 €/Tonne	357,9
Demontage	spezifisch (min/kg)		0,4 €/min	
Aufbereitung	stoffliche Verwertung	664,6 bis	1533,7 €/Tonne	1099,2
	chemische Verwertung			
	Hydrierung	204,5 bis	1022,5 €/Tonne	613,5
Logistik	Vergasung	255,6 bis	511,2 €/Tonne	383,4
		153,4 bis	306,7 €/Tonne	230,1

Dräger, Richard : Schriftverkehr mit Roman Pöltner: Recycling von Kabel und Kabelbäumen.  
Nohfelden , Eisen : Wietek Kunststoffrückgewinnung GmbH, 24. August 2000

Aufbereitungskosten	Kabelabfälle	<	255,6 €/Tonne
---------------------	--------------	---	---------------

Schuckert, Manfred et al. : Optimization of Three-Way Catalyst Systems by Life-Cycle Engineering Approach (98M-97). Stuttgart : University of Stuttgart, Institute for Polymer Testing and Polymer Science (IKP), 1998. S. 3

Platin	12781,2 €/kg
Rhodium	10224,9 €/kg
Palladium	6135,0 €/kg

Schulik, Jürgen : Email-Kontakt am Mittwoch, 26.06.2002 (10:02). Juergen.schulik@intier.com  
Ebergassing : Intier Automotive Eybl GmbH, Vorentwicklung-Recycling.

Kosten stoffliches Recycling Massenkunststoffe (Shreddern, Auftrenne	1,0 €/kg
Neuwarepreis technischer Kunststoffe (ABS, PC, PA, ...)	2,0 bis 3,0 €/kg

Büchler, Johann : Technology Study, AFZ-Verwertung, Verwertung kompletter AFZ, Stand der Technik - September 2001, für den Betriebsstandort Laxenburg. Laxenburg : voestalpine Rohstoffhandel GmbH, 03.12.2001.

Mannstunde		26 €/h
Erlöse	Batterie	0 €/Stück
	Katalysator	1,28 €/Stück
	Al-Felge	0,508 €/Stück
	Stahlfelge	0,548 €/Stück
	Wuchtgewichte	0,06 €/Altfahrz.
	Kunststoffzierkappen	0,03 €/Altfahrz.
Kosten	Reifen (therm.Verwertung)	0,503 €/Stück
	Kunststoffstoßfänger	0,2 €/Stück
	Luftfilter	0,08 €/Stück
	Schredderleichtfraktion	85,44 €/Tonne

### Schrottpreise

Ertl Recycling GmbH	0,01 €/kg
Haas A Stahlschrott & Metalle GmbH	0,036 €/kg
Tiroler Shredder GmbH	0,031 €/kg
Entsorgung Loacker Recycling GmbH	0,015 €/kg
<b>Mittelwert:</b>	<b>0,023 €/kg</b>

### Kupferabfälle

Vana Kupferschmiede und Apparatebau GmbH	0,665 €/kg
Paschwöll Kupfer und Aluminiumschmiede GmbH	0,716 €/kg
	<hr/>
	0,69 €/kg

**Preise von Kunststoffen und Kautschuk, alphabetisch geordnet**
**Quelle: "Kunststoffpraxis: Eigenschaften"; WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Stand 05/2002**

Kunststoff-Preise	DM/kg	Euro/kg
ABS, n, w, s	2,35 - 3,20	1,20 - 1,64
ABS-FR	4,40 - 5,00	2,25 - 2,56
ABS wfb	3,45 - 4,60	1,76 - 2,35
ABS+PC	4,60 - 5,30	2,35 - 2,71
ACM-Acrylat-Kautschuk	14,00 - 20,00	7,16 - 10,23
ASA	4,20 - 5,00	2,15 - 2,56
ASA+PC	4,80 - 5,50	2,45 - 2,81
AU-PUR	12,00 - 16,00	6,14 - 8,18
EPDM Kautschuk	3,80 - 4,50	1,94 - 2,30
HNBR Kautschuk	32,00 - 44,00	16,36 - 22,50
PA6 n – s	3,80 - 4,50	1,94 - 2,30
PA6-GF30/40	3,90 - 4,40	1,99 - 2,25
PA6-GF30, Automobilw.	4,30 - 5,00	2,20 - 2,56
PA66	4,80 - 6,00	2,45 - 3,07
PA66-GF30	4,85 - 6,30	2,48 - 3,22
PA66-GF, Automobilw.	4,30 - 5,00	2,20 - 2,56
PBT	5,10 - 6,00	2,61 - 3,07
PBT-GF30	5,40 - 6,00	2,76 - 3,07
PBT-HI	6,80 - 7,50	3,48 - 3,83
PC	5,10 - 6,00	2,61 - 3,07
PC-GF20/30	5,70 - 6,60	2,91 - 3,37
PC+ABS	4,80 - 6,00	2,45 - 3,07
PC+PBT modifiz.	5,80 - 7,50	2,97 - 3,83
PE-HD	1,40 - 1,65	0,72 - 0,84
PE-LD	1,45 - 1,65	0,74 - 0,84
PET Blamat.	3,20 - 4,00	1,64 - 2,05
PET-A (Flaschen)	1,55 - 1,80	0,79 - 0,92
PET+LCP-Blend	6,50 - 9,00	3,32 - 4,60
POM	3,90 - 5,00	1,99 - 2,56
POM-HI	4,80 - 5,60	2,45 - 2,86
POM-GF20	4,50 - 5,20	2,30 - 2,66
PP-B,-R Copolym	1,25 - 1,40	0,64 - 0,72
PP-H	1,15 - 1,35	0,59 - 0,69
PP-H-GF20/30	2,70 - 3,50	1,38 - 1,79
PP-T20/40 n, h	2,00 - 2,80	1,02 - 1,43
PP-T20/40 d,s	1,60 - 2,10	0,82 - 1,07
PPEPDM	3,80 - 4,50	1,94 - 2,30
PPE	5,80 - 6,20	2,97 - 3,17
PS	1,20 - 1,35	0,61 - 0,69
PS-HI	1,28 - 1,45	0,65 - 0,74
PUR-RIM	5,00 - 6,50	2,56 - 3,32
PVC-U	1,10 - 1,35	0,56 - 0,69
SAN	4,00 - 5,50	2,05 - 2,81
SB	2,00 - 2,40	1,02 - 1,23
SBR Kautschuk	2,60 - 3,40	1,33 - 1,74
TPA	13,00 - 20,00	6,65 - 10,23
TPE	10,00 - 13,00	5,11 - 6,65
TPO	3,50 - 5,00	1,79 - 2,56
TPU	10,00 - 13,00	5,11 - 6,65
UP-GF30-SMC	5,20 - 6,00	2,66 - 3,07

Aus dieser Datenmenge werden die für den Versuch relevanten Daten (gelb hinterlegt) entnommen und über Mittelwertbildung bei der Auswertung verwendet. Das Problem diesbezüglich besteht darin, genügend Werte für die Mittelwertbildung zu recherchieren, damit eine gute Kostenschätzung ermöglicht werden kann.

Die Tabelle 19 gibt die zusammengefassten Mittelwerte wieder, die in dieser Arbeit für die Kostenschätzung verwendet werden.

Tabelle 19: Mittelwerte für die Kostenschätzung

### Demontagekosten

Mannstunde Laxenburg	26,00€/h
Mannstunde Muellex	28,00€/h
Mittelwert:	27,00€/h

### Kunststoffpreise Weka Media

ABS, n, w, s	1,20 - 1,64	Mittelwert:	1,88€/kg
ABS+PC	2,35 - 2,71	Mittelwert:	2,53€/kg
EPDM Kautschuk	1,94 - 2,30	Mittelwert:	2,12€/kg
PA6-GF30, Automobilw.	2,20 - 2,56	Mittelwert:	2,38€/kg
PE-HD	0,72 - 0,84	Mittelwert:	0,78€/kg
PE-LD	0,74 - 0,84		
PPEPDM	1,94 - 2,30	Mittelwert:	2,12€/kg
PUR-RIM	2,56 - 3,32	Mittelwert:	2,94€/kg
PBT-GF30	2,76 - 3,07	Mittelwert:	2,92€/kg

### Kunststoff-Recyclingkosten Bayer

Transport	0,05€/kg
Transport BMW N 11399.0	0,23€/kg
Mittelwert:	0,14€/kg

händische Sortierung	0,15€/kg
Zerkleinerung (Schredder od. Mühle)	0,23€/kg
Entstaubung, Entmetallisierung	0,10€/kg
Homogenisierung	0,10€/kg
Entlackung (nasschemisch)	0,30€/kg
Regranulierung	0,30€/kg
Qualitätsendprüfung	0,10€/kg

Shreddern, Auftrennen, Regranulieren, exkl. Transport (Schulik, MagnaEybl)	1,00€/kg
--	----------

**Schrottpreise**

Ertl Recycling GmbH	0,01€/kg
Haas A Stahlschrott & Metalle GmbH	0,04€/kg
Tiroler Shredder GmbH	0,03€/kg
Entsorgung Loacker Recycling GmbH	0,02€/kg
Mittelwert:	0,02€/kg

**Deponiegebühren**

Blech, Schrott Muellex-Entsorgung	0,02€/kg
Altmetall (>50 kg) Deponie Woltersdorf (Dannenberg)	0,02€/kg
Mittelwert Metallentsorgung:	0,02€/kg

Gewerbeabfall Deponie Woltersdorf (Dannenberg)	0,11€/kg
Gewerbeabfall zur Verwertung Würburger Recycling GmbH	0,18€/kg
Entsorgung BMW N 11399.0 Richtwert	0,26€/kg
Deponiegebühren für SLF in Ö (Schenk)	0,15€/kg
Schredderleichtfraktion Laxenburg	0,09€/kg
Mittelwert Deponierung:	0,16€/kg

**Thermische Verwertung Kunststoffe**

BMW N 11399.0 Richtwert	0,36€/kg
Verwertung Kunststofffolien Deponie Wolterdorf	0,18€/kg
Ersatzbrennstoff sortenrein Erdölpreis (Heizöl schwer)	0,15€/kg

**Chemische Verwertung Kunststoffe**

Hydrierung BMW N 11399.0 Richtwert	0,61€/kg
Vergasung BMW N 11399.0 Richtwert	0,38€/kg

**Kupfer**

Verwertung Wietek GmbH	0,25€/kg
Kupfer Sekundär (Vana GmbH, Paschwöll GmbH)	0,69€/kg

**Glas**

Flachglas ohne Rahmung, sortenrein Deponie Woltersdorf (Dannenberg)	0,00€/kg
Neupreis Flachglas	0,15€/kg

## Anhang C: Photodokumentationen zum Demontageversuch

Im folgenden werden die im Demontageversuch demontierten Bauteile, wie sie vor Ort bildlich festgehalten worden sind, gezeigt. Die Nummern an den Bauteilen bezeichnen die beim jeweiligen Demontageschritt gewonnenen Bauteile. Diese Photodokumentationen – jeweils für das BMW E30- u. das BMW E46-Türmodul (siehe Abbildung 23) - stellen ein wichtiges Hilfsmittel für die Auswertung des Demontageversuches dar.



Abbildung 23: Türmodule des E30 (links) und des E46 (rechts) vor dem Demontageversuch

### Demontage eines BMW-E30-Türmoduls

Die folgende Photodokumentation zeigt alle demontierten Bauteile des E30-Türmoduls (inkl. Demontageschrittnummer lt. Kapitel 5.2, Tabelle 5.2), sowie einige Zwischenstufen bis hin zum völlig demontierten Rohbau.



Abbildung 24: Wiegen des gesamten BMW E30-Türmoduls auf einer Standwaage



Abbildung 25: Bauteile der Demontageschritte 1 bis 11 des E30-Türmoduls



Abbildung 26: Zwischenstufe in der Demontage des E30-Türmoduls



Abbildung 27: demontierte Türinnenverkleidung mit Kartentasche (Vorderansicht)



Abbildung 28: Weiterzerlegung der Türinnenverkleidung



Abbildung 29: demontierte Bauteile der Demontageschritte 12 bis 23



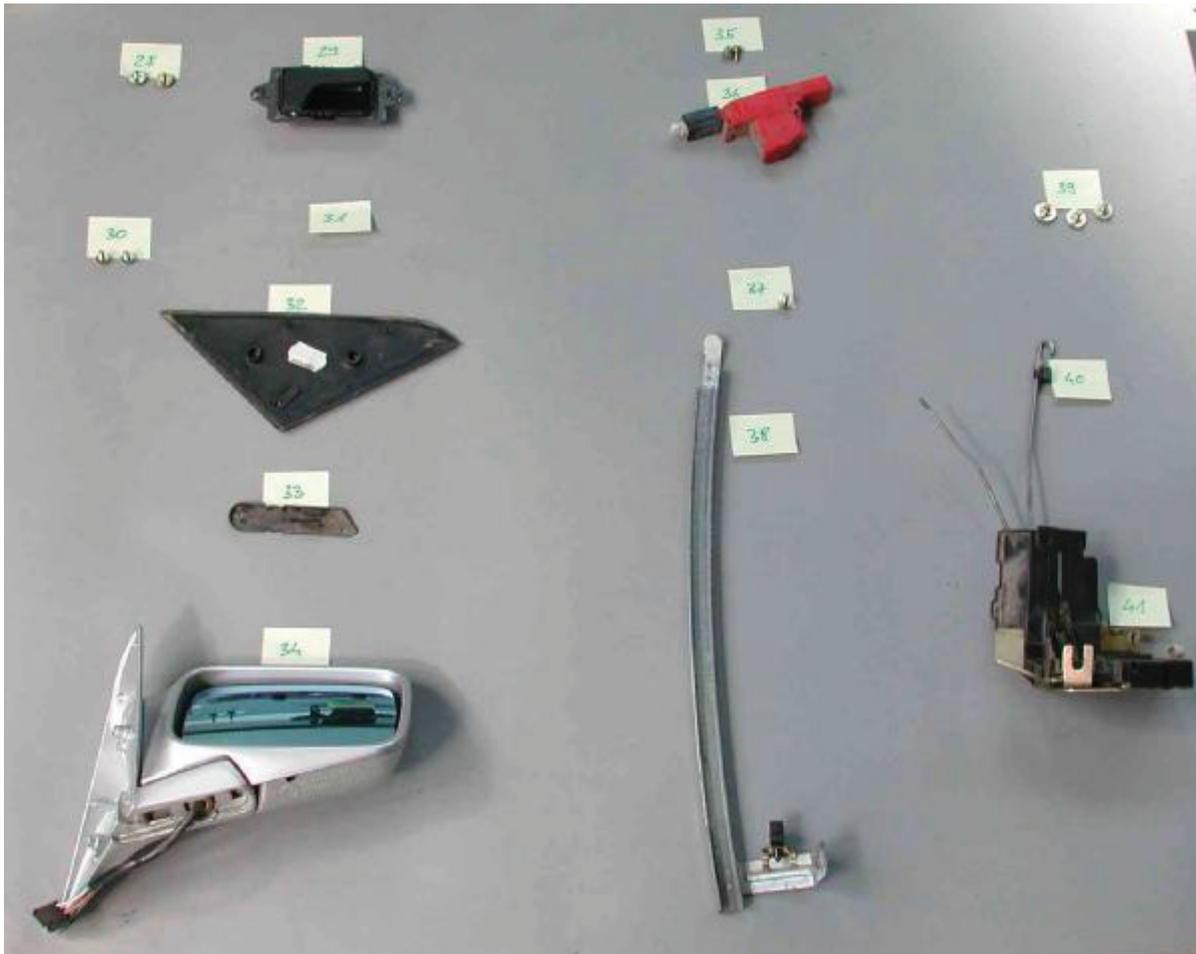


Abbildung 32: demontierte Bauteile der Demontageschritte 28 bis 41



Abbildung 33: Detailansicht des unlösbar an den Rohbau geklebten Antidröhnbelages



Abbildung 34: demontierte Bauteile der Demontageschritte 42 bis 56



Abbildung 35: demontierte Bauteile der Demontageschritte 57 bis 62



Abbildung 36: komplettdemontierter Rohbau der BMW-E30-Tür (Aussenansicht)



Abbildung 37: Demontageschritt 63 – Komplettdemontage der BMW-E30-Tür (Innenansicht)

## Demontage eines BMW-E46-Türmoduls

Die folgende Photodokumentation zeigt alle demontierten Bauteile des E46-Türmoduls (inkl. Demontageschrittnummer lt. Kapitel 5.2, Tabelle 5.3) und einige Detailansichten bis hin zum völlig demontierten Rohbau.



Abbildung 38: Demontageschritte 1 bis 12 des BMW E46-Türmoduls



Abbildung 39: Detailansicht der aufgrund unlösbarer Schweiß- und Klebeverbindungen nicht weiterzerlegbaren Türinnenverkleidung



Abbildung 40: Türmodul nach Demontage der Türinnenverkleidung



Abbildung 41: demontierte Bauteile der Demontageschritte 13 bis 21



Abbildung 42: Türmodul mit freigelegten Cr(VI)-Clipsen und Schraubverbindungen



Abbildung 43: Bauteile der Demontageschritte 22 bis 30



Abbildung 44: Cr(VI)-Verbindungen an Rohbau und Fensterhebermotor

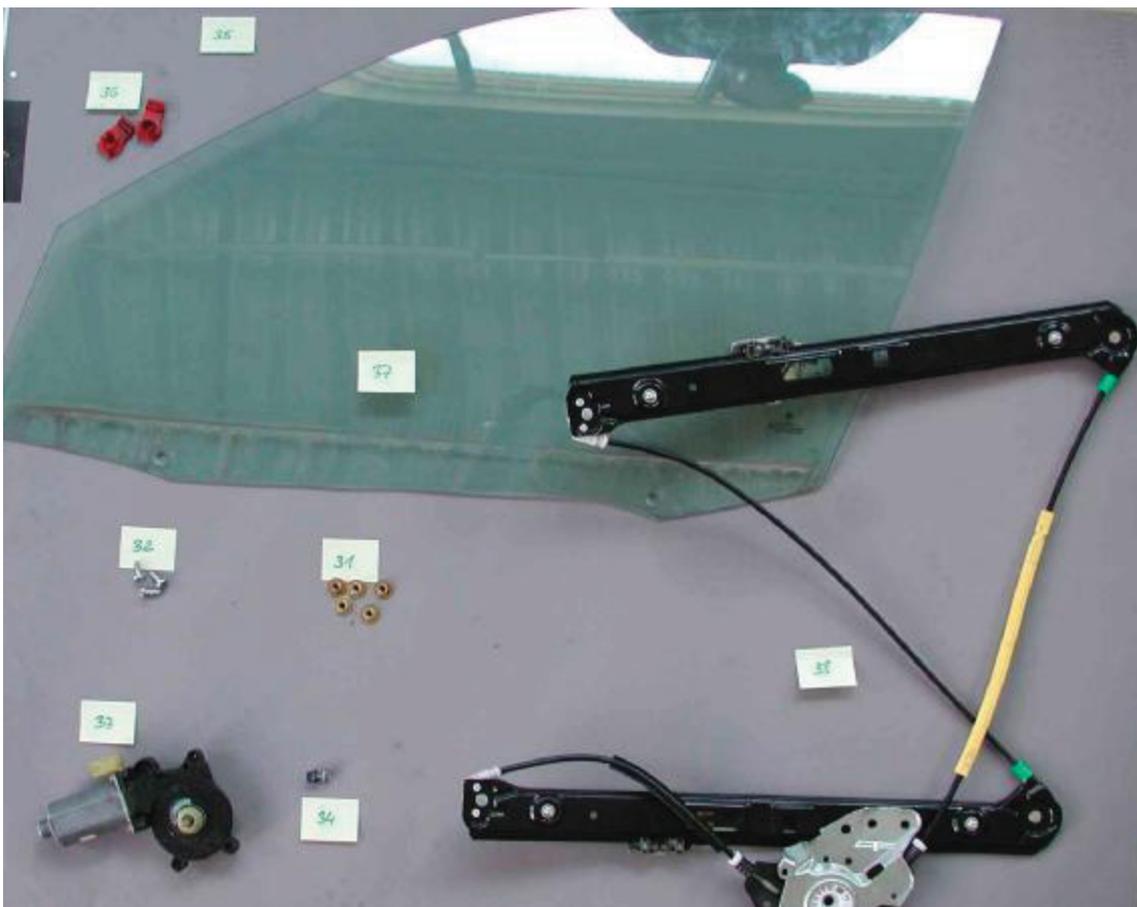


Abbildung 45: Demontageschritte 31 bis 38





Abbildung 48: Rohbau der E46-Tür nach Komplettdemontage – Antidröhnbelag unlösbar geklebt



Abbildung 49: Ende der Komplettdemontage bei Demontageschritt 62

## Anhang D : Demontagefilm

Der Film ist von Herrn Helmut Zach (Fotolabor der Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG und Co KG) aufgezeichnet und geschnitten worden und auf der beiliegenden CD-Rom festgehalten.

## **Anhang E : Anpassung der Anhänge II A und II B der EU-Richtlinie 75/442/EWG über Abfälle (96/350/EG)**

**ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 24. Mai 1996 zur Anpassung der Anhänge IIA und IIB der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle (Text von Bedeutung für den EWR) (96/350/EG)**

DIE KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN -  
gestützt auf den Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft,  
gestützt auf die Richtlinie 75/442/EWG des Rates vom 15. Juli 1975 über Abfälle (1),  
geändert durch die Richtlinie 91/692/EWG (2), insbesondere auf Artikel 17,  
in Erwägung nachstehender Gründe:

Die obengenannte Bestimmung ermöglicht es der Kommission, die Anhänge IIA und IIB an die Richtlinie 75/442/EWG anzupassen.

Die Kommission wird bei dieser Aufgabe durch den nach Artikel 18 der Richtlinie 75/442/EWG eingesetzten Ausschuß unterstützt, der sich aus Vertretern der Mitgliedstaaten zusammensetzt und in dem der Vertreter der Kommission den Vorsitz führt.

Die in dieser Entscheidung vorgesehenen Maßnahmen stimmen mit der Stellungnahme des obengenannten Ausschusses überein -

HAT FOLGENDE ENTSCHEIDUNG ERLASSEN:

### Artikel 1

Die Anhänge IIA und IIB der Richtlinie 75/442/EWG werden durch die Anhänge IIA und IIB dieser Entscheidung ersetzt.

### Artikel 2

Diese Entscheidung ist an alle Mitgliedstaaten gerichtet.

Brüssel, den 24. Mai 1996

Für die Kommission

Ritt BJERREGAARD

Mitglied der Kommission

(1) ABl. Nr. L 194 vom 25. 7. 1975, S. 47.

(2) ABl. Nr. L 377 vom 31. 12. 1991, S. 48.

## ANHANG IIA

### BESEITIGUNGSVERFAHREN

NB: Dieser Anhang führt Beseitigungsverfahren auf, die in der Praxis angewandt werden. Nach Artikel 4 müssen die Abfälle beseitigt werden, ohne daß die menschliche Gesundheit gefährdet wird und ohne daß Verfahren oder Methoden verwendet werden, welche die Umwelt schädigen können.

- D1 Ablagerungen in oder auf dem Boden (z. B. Deponien usw.)
- D2 Behandlung 1 im Boden (z. B. biologischer Abbau von flüssigen oder schlammigen Abfällen im Erdreich usw.)
- D3 Verpressung (z. B. Verpressung pumpfähiger Abfälle in Bohrlöcher, Salzdome oder natürliche Holzräume usw.)
- D4 Oberflächenaufbringung (z. B. Ableitung flüssiger oder schlammiger Abfälle in Gruben, Teichen oder Lagunen usw.)
- D5 Speziell angelegte Deponien (z. B. Ablagerung in abgedichteten, getrennten Räumen, die gegeneinander und gegen die Umwelt verschlossen und isoliert werden, usw.)
- D6 Einleitung in ein Gewässer mit Ausnahme von Meeren/Ozeanen
- D7 Einleitung in Meere/Ozeane einschließlich Einbringung in den Meeresboden
- D8 Biologische Behandlung, die nicht an anderer Stelle in diesem Anhang beschrieben ist und durch die Endverbindungen oder Gemische entstehen, die mit einem der in D 1 bis D 12 aufgeführten Verfahren entsorgt werden
- D9 Chemisch/physikalische Behandlung, die nicht an anderer Stelle in diesem Anhang beschrieben ist und durch die Endverbindungen oder Gemische entstehen, die mit einem der in D 1 bis D 12 aufgeführten Verfahren entsorgt werden (z. B. Verdampfen, Trocknen, Kalzinieren usw.)
- D10 Verbrennung an Land
- D11 Verbrennung auf See
- D12 Dauerlagerung (z. B. Lagerung von Behältern in einem Bergwerk usw.)
- D13 Vermengung oder Vermischung vor Anwendung eines der in D 1 bis D 12 aufgeführten Verfahren
- D14 Rekonditionierung vor Anwendung eines der in D 1 bis D 13 aufgeführten Verfahren
- D15 Lagerung bis zur Anwendung eines der in D 1 bis D 14 aufgeführten Verfahren (ausgenommen zeitweilige Lagerung - bis zum Einsammeln - auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle)

## ANHANG IIB

### VERWERTUNGSVERFAHREN

NB: Dieser Anhang führt Verwertungsverfahren auf, die in der Praxis angewandt werden. Nach Artikel 4 müssen die Abfälle verwertet werden, ohne daß die menschliche Gesundheit gefährdet und ohne daß Verfahren oder Methoden verwendet werden, welche die Umwelt schädigen können.

- R 1 Hauptverwendung als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung
- R 2 Rückgewinnung/Regenerierung von Lösemitteln
- R 3 Verwertung/Rückgewinnung organischer Stoffe, die nicht als Lösemittel verwendet werden (einschließlich der Kompostierung und sonstiger biologischer Umwandlungsverfahren)
- R 4 Verwertung/Rückgewinnung von Metallen und Metallverbindungen
- R 5 Verwertung/Rückgewinnung von anderen anorganischen Stoffen
- R 6 Regenerierung von Säuren und Basen
- R 7 Wiedergewinnung von Bestandteilen, die der Bekämpfung der Verunreinigungen dienen
- R 8 Wiedergewinnung von Katalysatorenbestandteilen
- R 9 Ölraffination oder andere Wiederverwendungsmöglichkeiten von Öl
- R 10 Aufbringung auf den Boden zum Nutzen der Landwirtschaft oder der Ökologie
- R 11 Verwendung von Abfällen, die bei einem der unter R 1 bis R 10 aufgeführten Verfahren
- R 12 Austausch von Abfällen, um sie einem der unter R 1 bis R 11 aufgeführten Verfahren zu unterziehen
- R 13 Ansammlung von Abfällen, um sie einem der unter R 1 bis R 12 aufgeführten Verfahren zu unterziehen (ausgenommen zeitweilige Lagerung - bis zum Einsammeln - auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle)