



Dokumentation der Fachtagung 08. November 2001

**Neuere Entwicklungen  
zur Erfassung und Verwertung  
von Kunststoffabfällen**

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 - 0  
Fax: (0821) 90 71 - 55 56

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU).

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Begrüßung und Einführung</b>	2
Kerstin Bayer, LfU	
<b>Die Sortieranlage für Leichtverpackungen der A.R.T. GmbH</b>	4
Thomas Schwarz, A.R.T. GmbH	
<b>Strategie der DKR für ein ökoeffizientes Kunststoffrecycling</b>	10
Jörg-Olaf Jansen, Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH (DKR)	
<b>Systematische, ökologische und ökonomische Fragen zur Verwertung von Altkunststoffen aus Verpackungen</b>	20
Prof. Dr.-Ing. Günter Fleischer, TU Berlin	
<b>Innovative Recyclingverfahren – PVC-Branche favorisiert Recyclingmix</b>	30
Dipl.-Ing. Michael Vetter, Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.	
<b>Erfassung und Verwertung von Altteppichen</b>	42
Kerstin Bayer, LfU	
<b>Kunststoffe in Altfahrzeugen: Maßnahmen zur Verwertung der Altkunststoffe aus Altautos und deren neue Einsatzgebiete</b>	50
Dipl.-Ing. (FH) Wiedemann, Wipag Polymertechnik	
<b>Verwertung von Altautos und deren Materialien</b>	59
Dipl.-Ing. Klemens Graser, BMW AG	
<b>Referenten</b>	85

## Begrüßung und Einführung

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Bayer, LfU

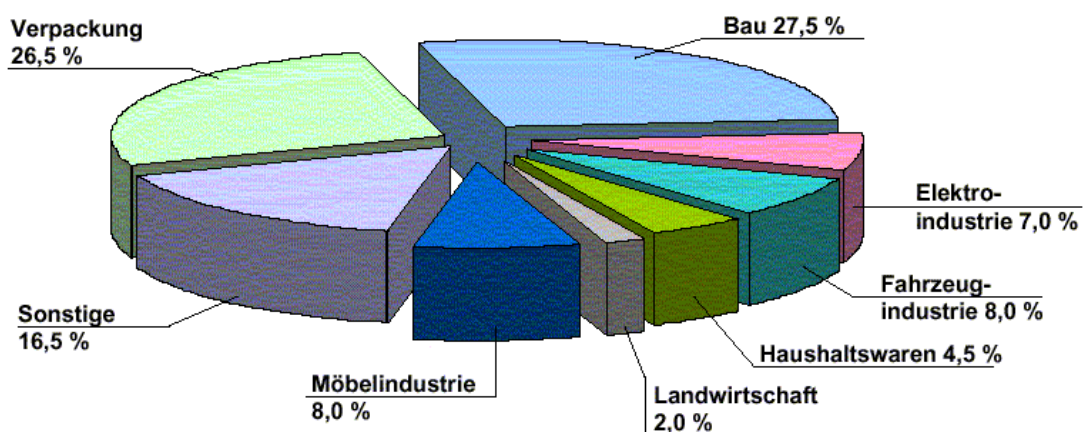
Sehr geehrte Damen und Herren aus der Industrie, Wirtschaft und den Universitäten,  
sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen von den Behörden,

ich möchte Sie recht herzlich zu unserer Veranstaltung „Neuere Entwicklungen zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“ begrüßen. Besonders begrüßen möchte ich, die Vertreter des Umweltbundesamtes aus Berlin sowie der Umwelt-Ministerien aus Bayern und Baden-Württemberg. Ich freue mich sehr, dass Vertreter aus allen drei Interessensgruppen der Wirtschaft, der Universitäten bzw. der Forschungsinstitute sowie aus den Behörden den Weg nach Augsburg gefunden haben.

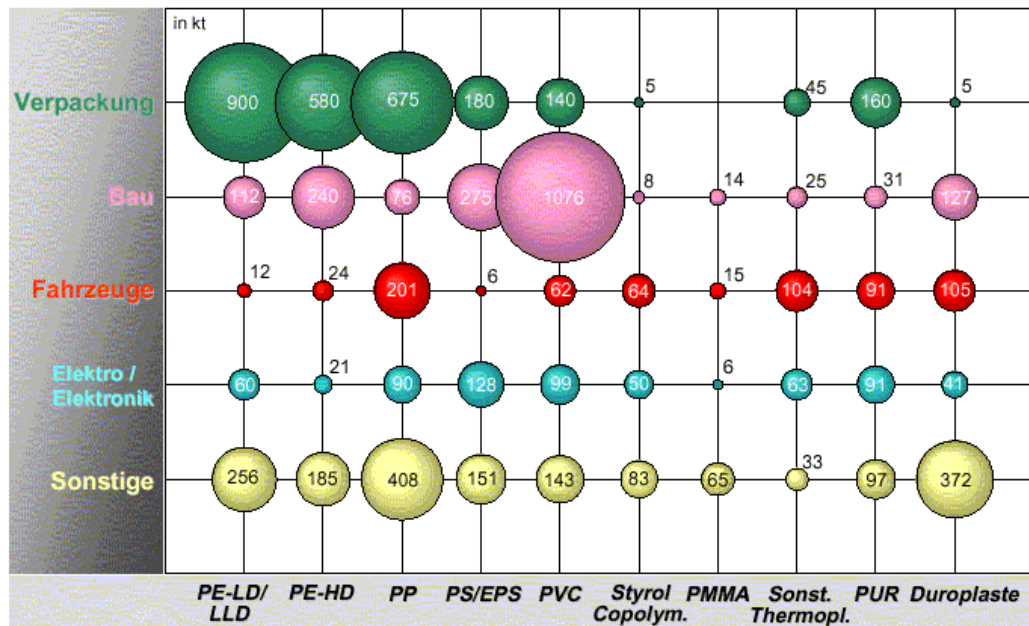
Dies lässt hoffen, dass Informationen aus allen Bereichen ausgetauscht werden können, wozu gerade solche Veranstaltungen dienen.

Unsere heutige Veranstaltung zum Thema „Neuere Entwicklungen zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“ ist in drei Bereiche unterteilt. Diese Teilung resultiert aus den Einsatzgebieten und den verbrauchten Mengen von Kunststoffen in Deutschland, wie Sie in den folgenden Graphiken dargestellt ist.

### Einsatzgebiete von *Kunststoffen* in Deutschland (Prozent) 1999



## Verbrauch von *Kunststoffen* nach Kunststoffarten und Einsatzbereichen in Deutschland 1999



VKE-Studie

„Produktions- und Verbrauchsdaten für Kunststoffe in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung 1999“

Die Abbildungen zeigen, dass die Haupteinsatz- sowie die Hauptverbrauchsgebiete von Kunststoffen der Verpackungs-, der Bau- sowie der Fahrzeugbereich sind. Deshalb sollten diese auch vorrangig betrachtet werden.

Im Verpackungsbereich wird Ihnen eine der neuesten Sortiertechniken für Verpackungen dargestellt. In welche Richtung sich das Kunststoffrecycling, aus Sicht der DKR, bewegen sollte sowie eine Betrachtung wie sinnvoll Kunststoffrecycling ist, wird in den weiteren Vorträgen erläutert.

Im zweiten Teil dreht sich alles um den Baubereich. In dieser Branche spielen langlebige Kunststoffe eine Rolle, bei denen andersartige Faktoren bei der Aufbereitung als bei den kurzlebigen Kunststoffen zu beachten sind. Hier war in der Vergangenheit PVC immer ein Brennpunktthema, wir werden sehen, wie die Bemühungen der Branche zum Tragen kommen bzw. gekommen sind und welche neuen Verfahren angestrebt werden.

Im dritten und letzten Abschnitt betrachten wir Kunststoffe aus einem sehr speziellen Einsatzsegment. Für die KfZ-Branche wurden sehr weitreichende Vereinbarungen in der EU-Altautoverordnung getroffen und Verwertungsquoten festgelegt. Die Umsetzung in die Praxis wird Ihnen heute detailliert vorgestellt. Sie zeigen interessante Recyclinglösungen innerhalb einer Branche auf.

Ich denke, dass wir heute sehr viele interessante Informationen von den geladenen Fachleuten erhalten und wünsche Ihnen einen informativen Tag, einen erfolgreichen Informationsaustausch und der Veranstaltung ein gutes Gelingen.

## Die Sortieranlage für Leichtverpackungen der A.R.T. GmbH

Thomas Schwarz, Projektleiter Duales System/Stellv. Geschäftsführer, A.R.T. GmbH



### A.R.T. GmbH

#### Kurzbeschreibung (1)

- Die A.R.T. GmbH ist ein 100%iges Tochterunternehmen des Zweckverbandes A.R.T. (Stadt Trier und Landkreis Trier-Saarburg) und Vertragspartner der “Duales System AG” (DSD) für das oben genannte Vertragsgebiet.
  - **Am Standort Trierer Hafen betreibt die A.R.T. GmbH eine Sortieranlage für “Verkaufsverpackungen mit dem Grünen Punkt”, die aufgrund ihrer technischen Einrichtung in Deutschland Modellcharakter besitzt.**
- Neben den Mengen aus dem eigenen Vertragsgebiet sortiert die A.R.T. Leichtverpackungen im Auftrag anderer “DSD”-Vertragspartner.



# A.R.T. GmbH

## Kurzvorstellung (2)

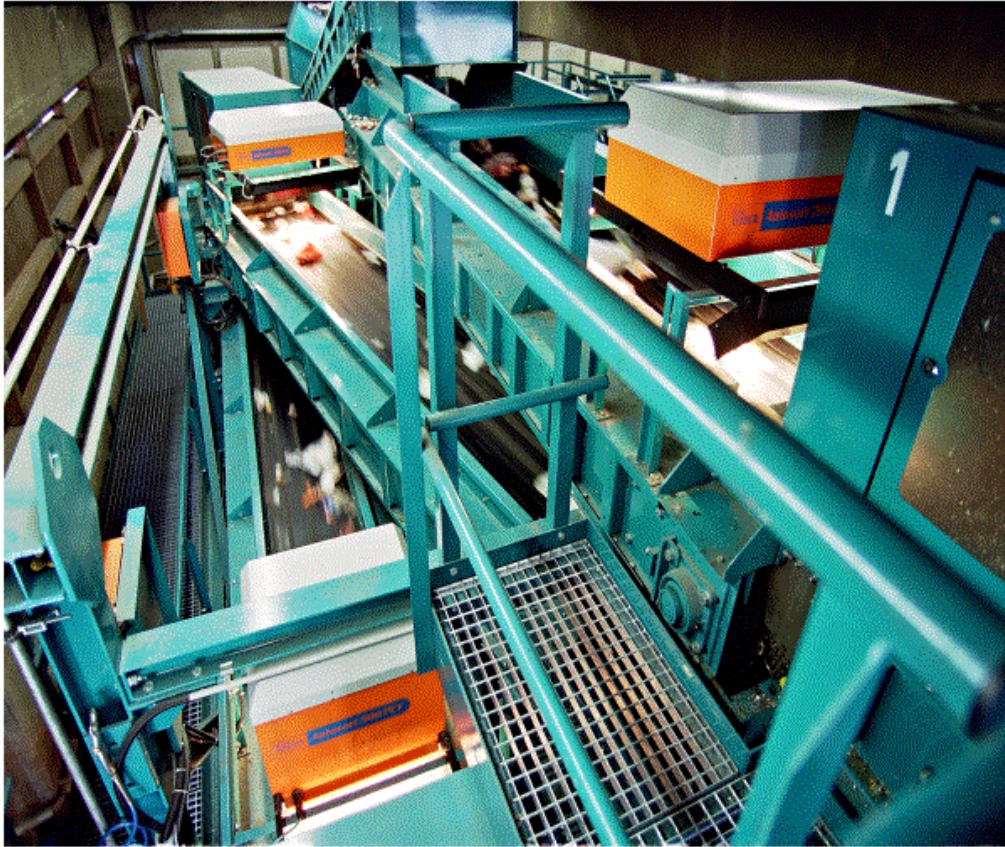
- **Die A.R.T. GmbH ist Vertragspartner der “Gesellschaft für Glasrecycling mbH” (Garantiegeber DSD) und betreibt den Altglasumschlag mit ca. 20.000 t / a.**
- Weitere Geschäftsfelder sind die Entsorgung von Gewerbebetrieben im Bereich “Abfälle zur Verwertung”, Holzverwertung und Elektronikschrottreycling.
- **Die A.R.T. GmbH ist Vertragspartner der “Interseroh AG” für die Einsammlung von Transportverpackungen.**
- Die Weiterverarbeitung der angelieferten bzw. zu sortierenden Materialien erfolgt in Zusammenarbeit mit der Bürgerservice gGmbH. Die Bürgerservice gGmbH ist eine gemeinnützige GmbH, die es sich zur Aufgabe gestellt hat, Langzeitarbeitslose wieder in die Arbeitswelt wieder zu integrieren.



# Anlagendaten

- **Mitarbeiter A.R.T. GmbH: 10 Personen**
- **Mitarbeiter in der LVP-Anlage: 6 Personen**  
(Subunternehmer: Bürgerservice gGmbH)
- **Investitionsvolumen Modernisierung**
  - **Gesamtanlage: 6 Mio. DM**
  - **der Kunststoffstrecke: 1,3 Mio. DM**
- **Kapazität Gesamt pro Jahr: 25.000 Tonnen**
- **Durchsatz Gesamtanlage stündlich: 5,5 Tonnen**
- **Durchsatz Kunststoffartentrennung stündlich: 0,8 – 1 Tonnen**





## Vorteile der Anlage (1)

- Aufgrund ihres hohen Mechanisierungsgrades sortiert die Anlage auch Kleinverpackungen, ohne dass dadurch auffälliger Zusatzaufwand entstände.
- Die Anlage verknüpft den aktuellen Stand der herkömmlichen Sortiertechnik mit einer Zukunftstechnologie der Kunststoffarten-trennung, die
  - die Menge der verbleibenden Mischkunststoffe auf unter 40 Prozent des Kunststoff-Inputs verringert;
  - eine deutlich erhöhte Ausbeute an hochwertig werkstofflich verwertbaren Kunststoffen mit einem Reinheitsgrad von über 92 Prozent ermöglicht;





## Vorteile der Anlage (2)

- diese werkstofflich verwertbaren Kunststoff-fractionen automatisch und kostengünstig erzeugt;
  - eine kostengünstige Weiterverarbeitung der Kunststoffartenfraktionen (Nassaufbereitung zur Verwertung) begünstigt;
  - eine hochwertige werkstoffliche Verwertung des Zukunftswerkstoffes PET auf der Grundlage der eingeführten Sammellogistik möglich macht.
- Die modulare Bauweise der Strecke zur Kunststoffartentrennung erlaubt ohne Probleme die Integration in andere bestehende Anlagen ähnlichen Typs.



## Mengenstatistik 1. Halbjahr 2001

- **Gesamtinput 1. Halbjahr 2001 : 8.013 t**

– Weissblech	19,65%
– Aluminium	3,80%
– Getränkeverbunde	9,65%
– So. Verbunde LVP	2,34%
– PET	3,48%
– Folien	7,59%
– MK. I	10,62%
– MK. II	8,35%
– PE	3,24%
– PP	4,42%
– PS	1,56%
– Sortierreste	26,29%



## Mengenstatistik September 2001

- **Gesamtinput September 2001 : 1174 t**

– Weissblech	20,24%
– Aluminium	3,42%
– Getränkeverbunde	10,30%
– So. Verbunde LVP	5,62%
– PET	4,40%
– Folien	6,75%
– MK. I	7,58%
– MK. II	14,29%
– PE	3,66%
– PP	3,37%
– PS	1,40%
– Sortierreste	18,98%




## Mengenstatistik Veränderung der Outputmenge


1. Halbjahr 01 / September 01

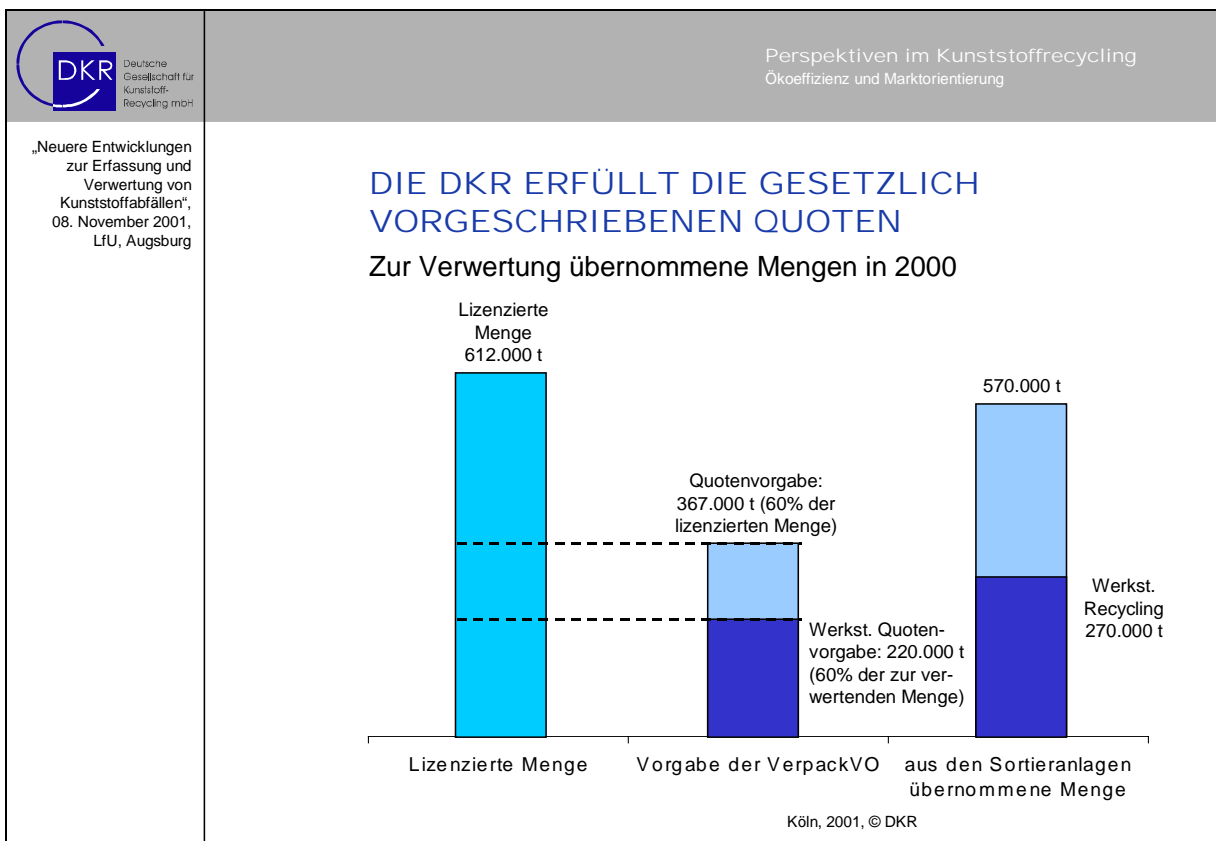
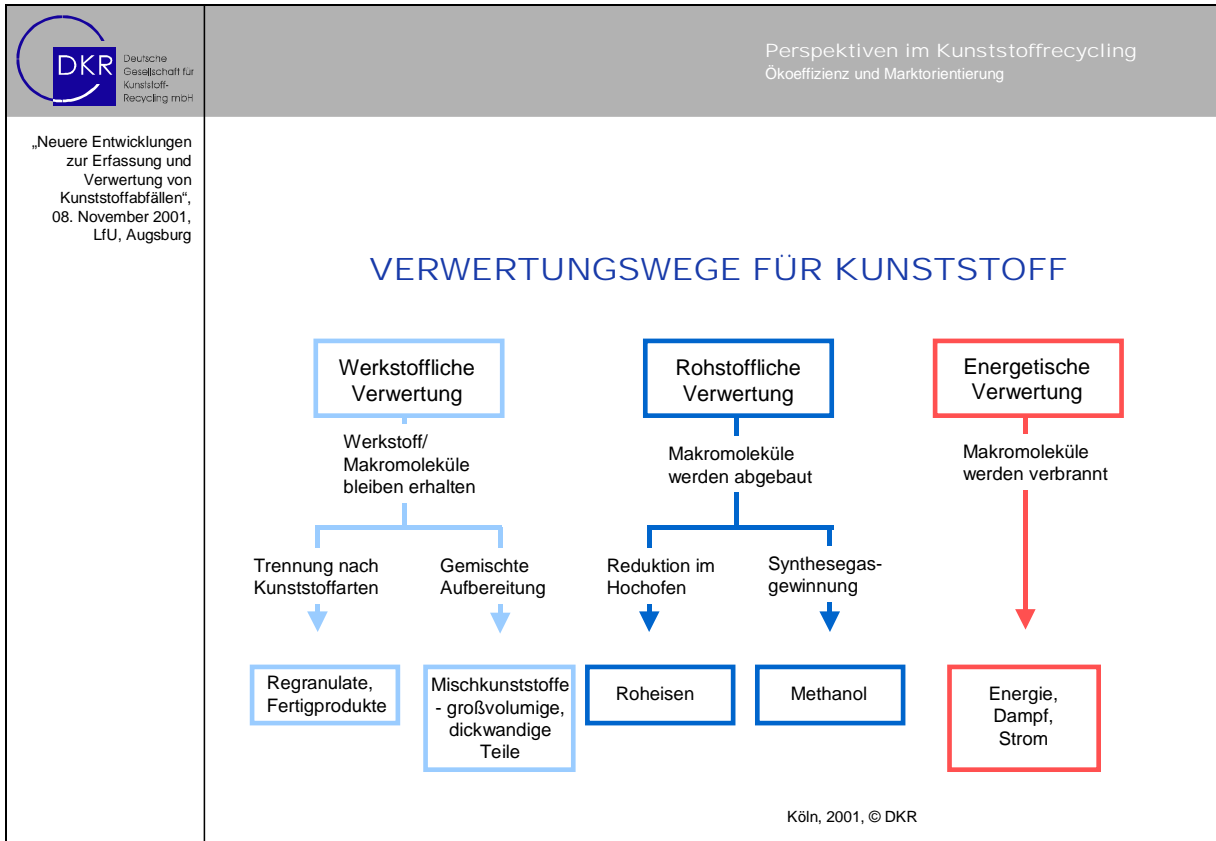
– Weissblech	19,65%	20,24%
– Aluminium	3,80%	3,42 %
– Getränkeverbunde	9,65%	10,30 %
– So. Verbunde LVP	2,34%	5,62 %
– PET	3,48%	4,40 %
– Folien	7,59%	6,75 %
– MK. I	10,62%	7,58 %
– MK. II	8,35%	14,29 %
– PE	3,24%	3,66 %
– PP	4,42%	3,37 %
– PS	1,56%	1,40 %
– Sortierreste	26,29%	18,98 %

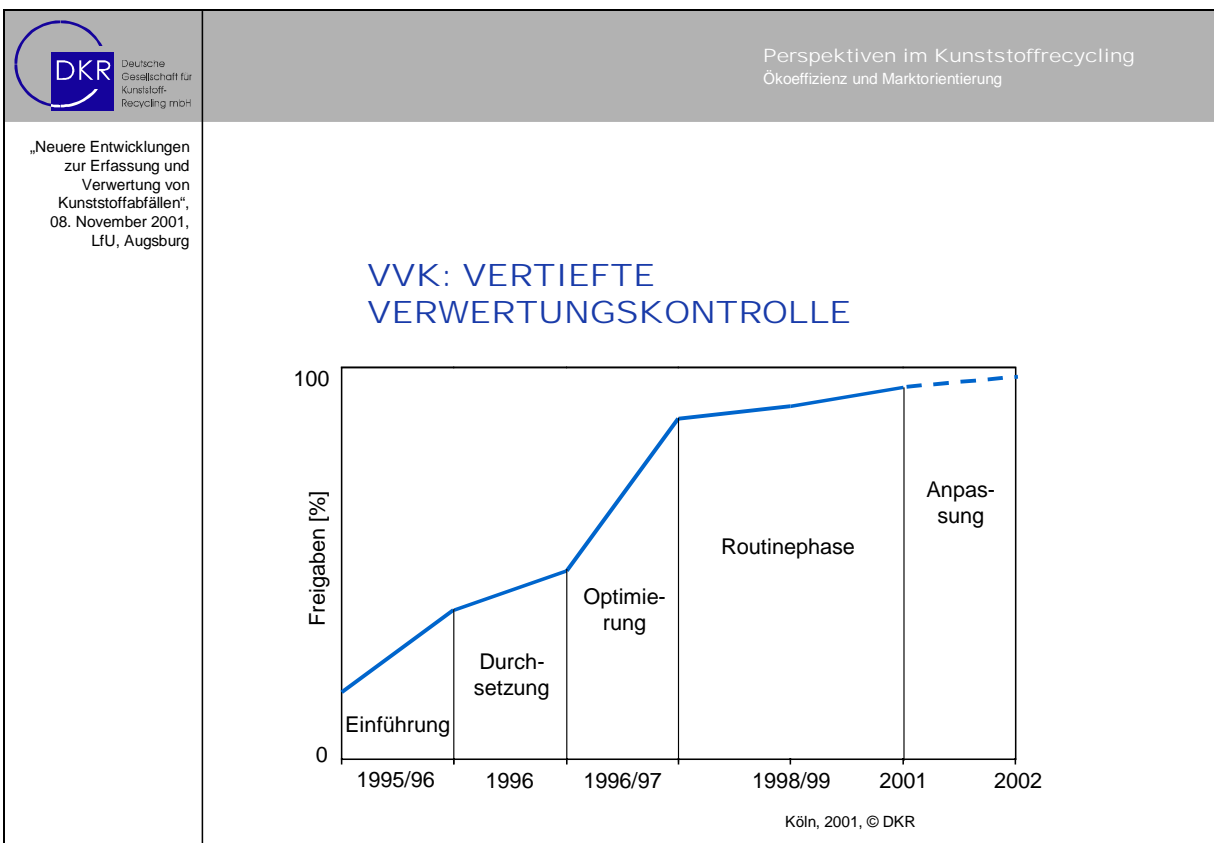
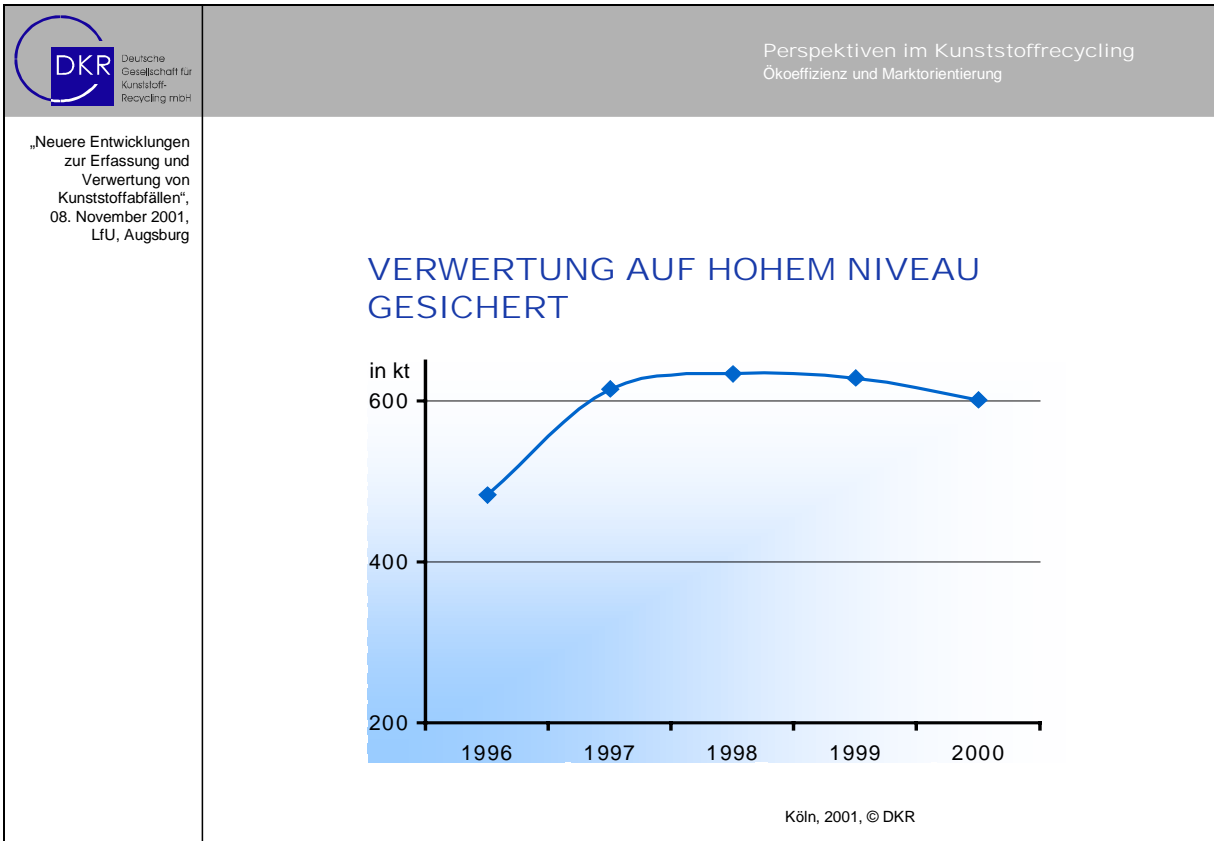
## Strategie der DKR für ein ökoeffizientes Kunststoffrecycling


Jörg-Olf Jansen, Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH (DKR)


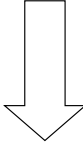

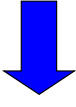
 <p>Deutsche Gesellschaft für Kunststoff- Recycling mbH</p>	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h3>DIE DKR GARANTIERT VERWERTUNGSSICHERHEIT</h3> <p>Aufgabe der DKR auf der Grundlage der VerpackVO ist es, die Verwertungssicherheit für Kunststoff-Verkaufsverpackungen mit dem Grünen Punkt zu garantieren.</p> <p>Köln, 2001, © DKR</p>

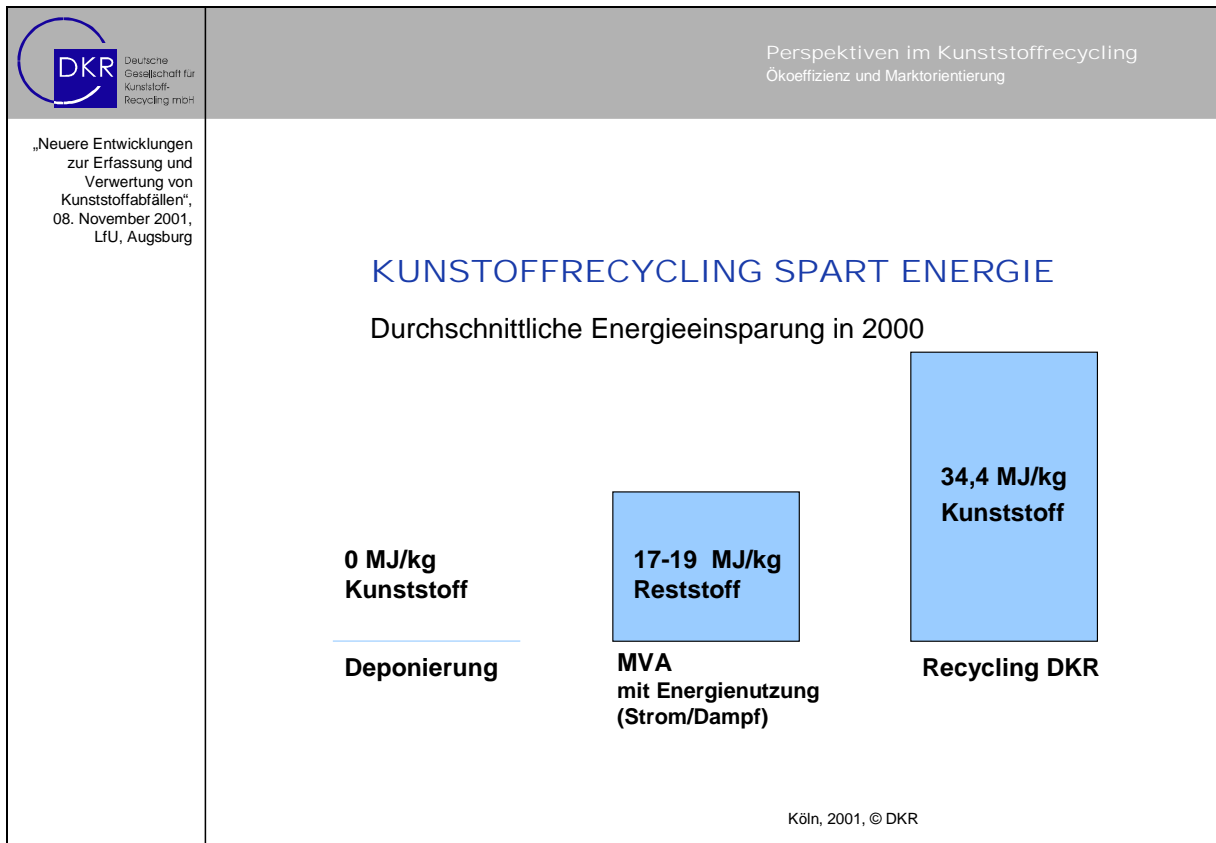
 <p>Deutsche Gesellschaft für Kunststoff- Recycling mbH</p>	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p> <p><b>- werkstofflich</b></p> <p><b>- rohstofflich</b></p> <p><b>- energetisch</b></p>	<h3>DREI WEGE SIND ZUGELASSEN</h3> <p>Die Novelle der Verpackungsverordnung vom 28. August 1998 fordert:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 60 Prozent aller im Dualen System lizenzierten Kunststoffverpackungen müssen einer Verwertung zugeführt werden.</li><li>- Von diesem Anteil sind wiederum 60 Prozent werkstofflich zu verwerten.</li><li>- Der Rest kann entweder werkstofflich, rohstofflich oder energetisch verwertet werden.</li></ul> <p>Köln, 2001, © DKR</p>





	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h2 style="text-align: center;">ZIELE DER DKR</h2> <h3 style="text-align: center;">Ökoeffiziente Kunststoffverwertung</h3> <p>Wichtiges Ziel der DKR ist es, die Energieeffizienz beim Kunststoffrecycling weiter zu steigern und gleichzeitig die Kosten weiter zu senken.</p> <h3 style="text-align: center;">Gemeinsamer Weg</h3> <p>Dieses Ziel kann nur auf der Basis einer innovativen und verlässlichen Zusammenarbeit der DKR mit ihren Partnern und einer konsequenten Orientierung des Kunststoffrecyclings an den Bedürfnissen des Marktes erreicht werden.</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Köln, 2001, © DKR</p>

	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h2 style="text-align: center;">OPTIMIERUNGSGRÖSSE ÖKOEFFIZIENZ</h2> $\text{Ökoeffizienz} = \frac{\text{Ökologischer Nutzen}}{\text{Ökonomische Kosten}}$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>Steigerung der Ökoeffizienz bedeutet</b></p> </div> <div style="font-size: 3em; line-height: 1;">}</div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Ökologischer Nutzen</b> </p> <p><b>Ökonomische Kosten</b> </p> </div> </div> <p style="text-align: right; font-size: small;">Köln, 2001, © DKR</p>



**DKR** Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH

Perspektiven im Kunststoffrecycling  
Ökoeffizienz und Marktorientierung


„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“,  
08. November 2001,  
LfU, Augsburg


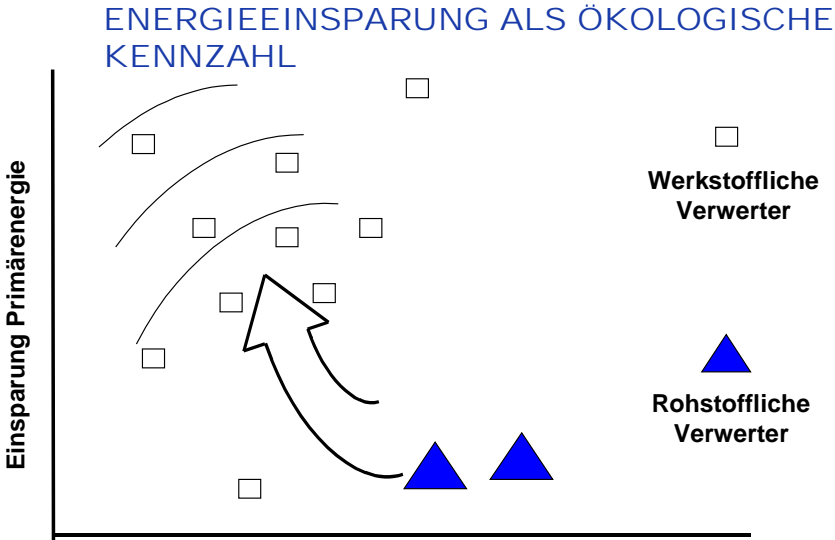
### STEIGERUNG DER ÖKOEFFIZIENZ

**Ziel**

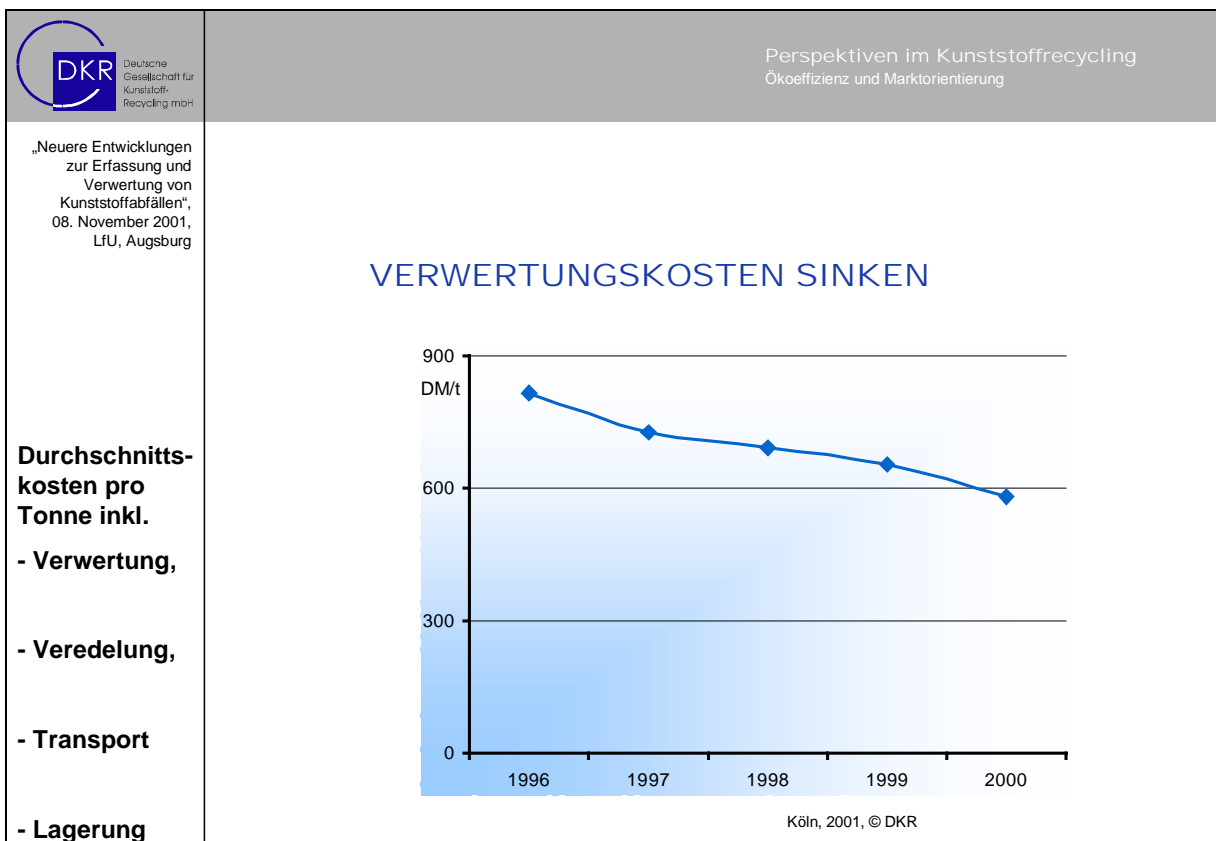
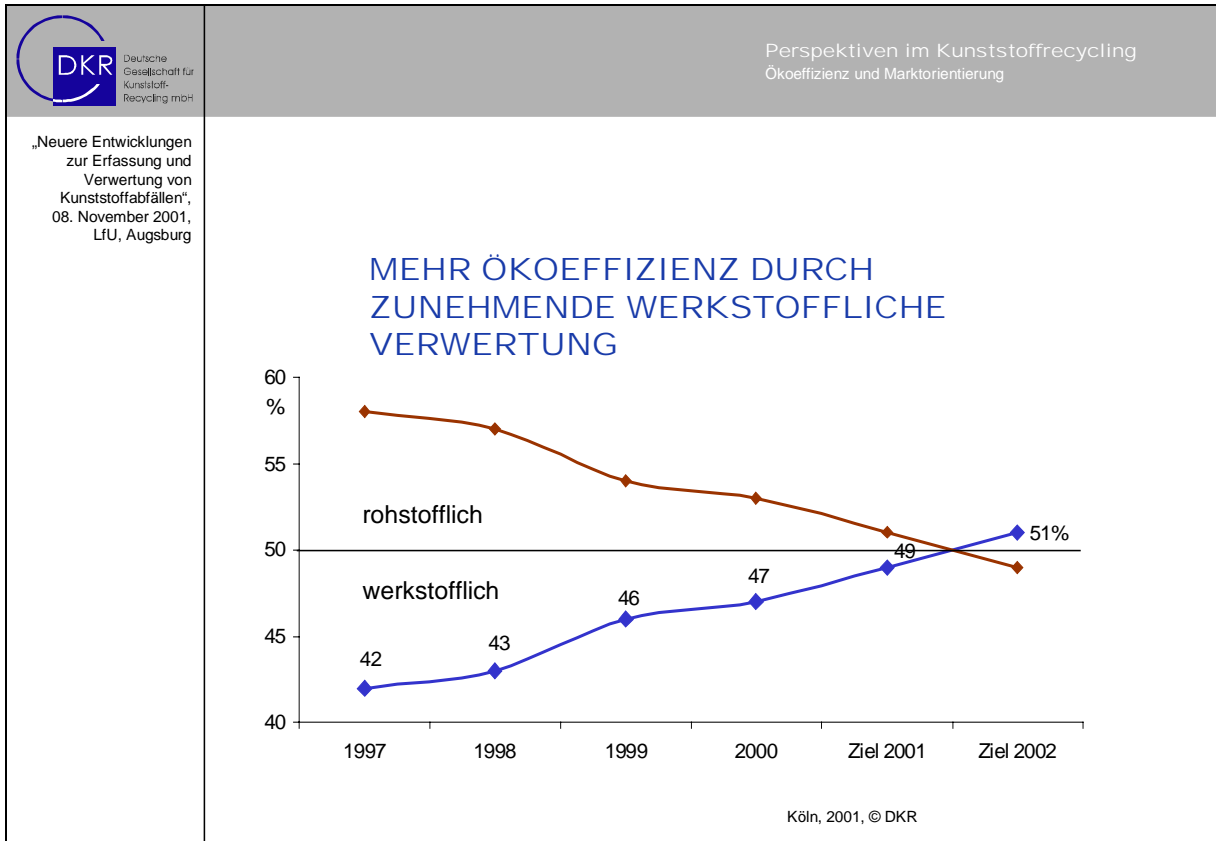
... ist es, die Kosten weiter zu senken und die Energieeffizienz zu steigern. Künftig sollen mit dem Recycling von Kunststoffverpackungen aus den Sammlungen des Dualen Systems 40 MJ/kg Primärenergie eingespart werden.

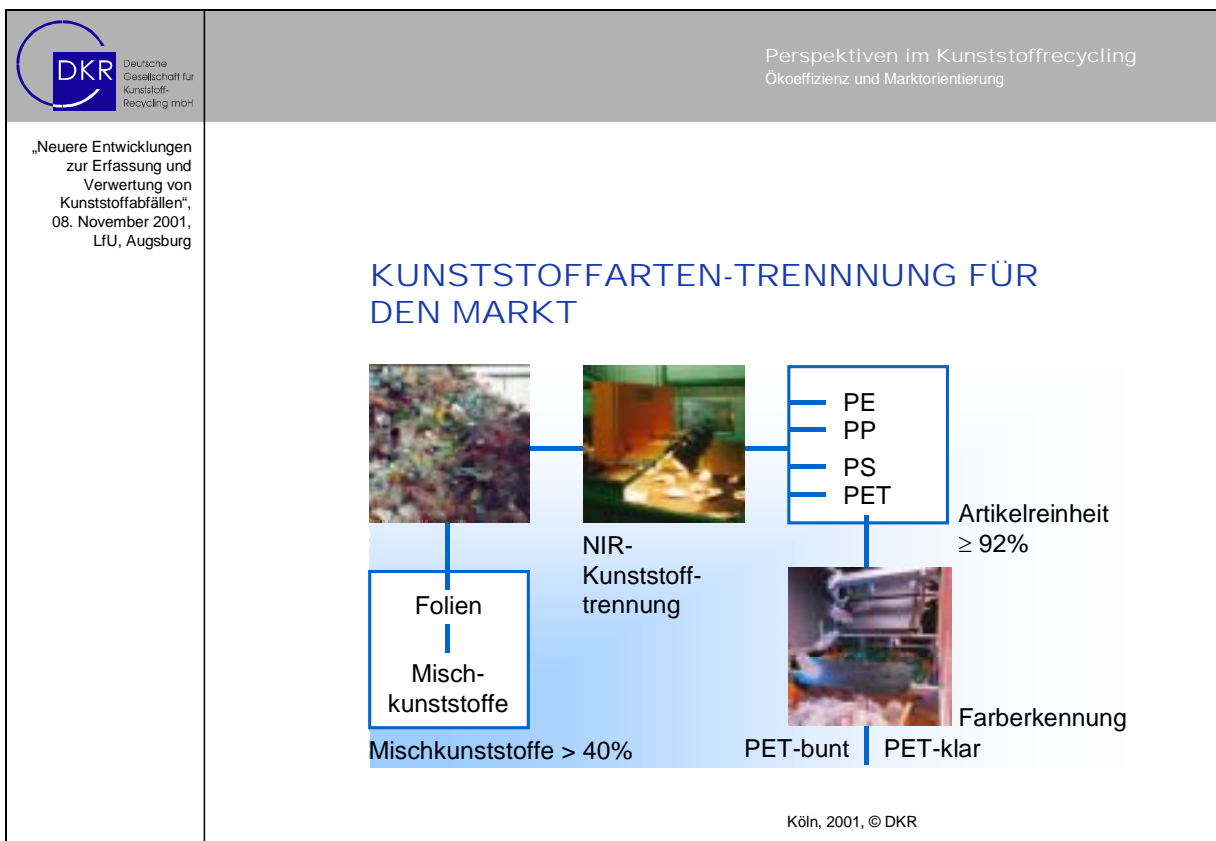
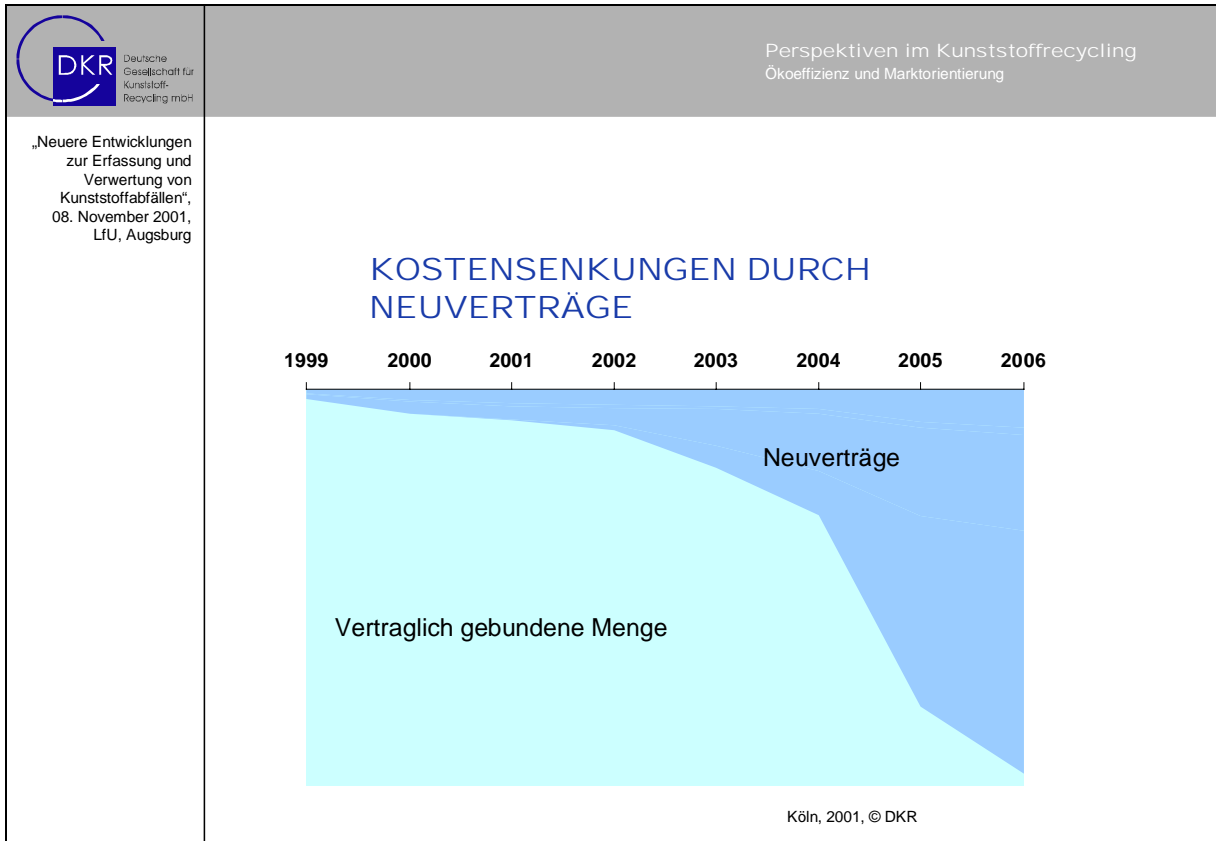
Köln, 2001, © DKR


 <p>Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH</p>	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h2 style="text-align: center;">STEIGERUNG DER ÖKOEFFIZIENZ</h2> <p><b>Maßnahmen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mehr werkstoffliche Verwertung</li> <li>- Kunststoffartentrennung</li> <li>- mehr hochwertige Produkte (weniger Holz- und Betonersatz)</li> <li>- energetische Verwertung der Reststoffe</li> </ul> <p style="text-align: right;">Köln, 2001, © DKR</p>

 <p>Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH</p>	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h2 style="text-align: center;">ENERGIEEINSPARUNG ALS ÖKOLOGISCHE KENNZAHL</h2>  <p style="text-align: right;">Köln, 2001, © DKR</p>







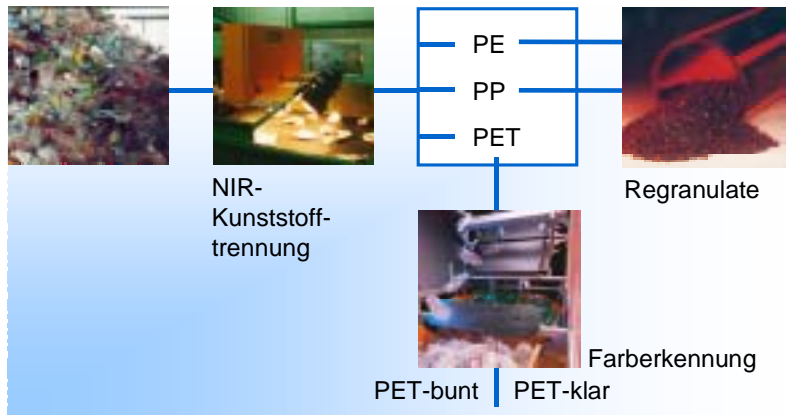


Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH

Perspektiven im Kunststoffrecycling  
Ökoeffizienz und Marktorientierung


„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg

### ANPASSUNG AN MARKTBEDÜRFNISSE - BEISPIEL FLASCHENVEREDELUNG



The diagram illustrates the process of bottle refining. It starts with a pile of mixed plastic waste. This waste undergoes NIR-Kunststofftrennung (NIR plastic separation). The separated plastics are categorized into PE, PP, and PET. The PET fraction is further processed through Farberkennung (color recognition) into PET-bunt (colored) and PET-klar (clear). Finally, the PET fractions are converted into Regranulate (regranulate).

Köln, 2001, © DKR

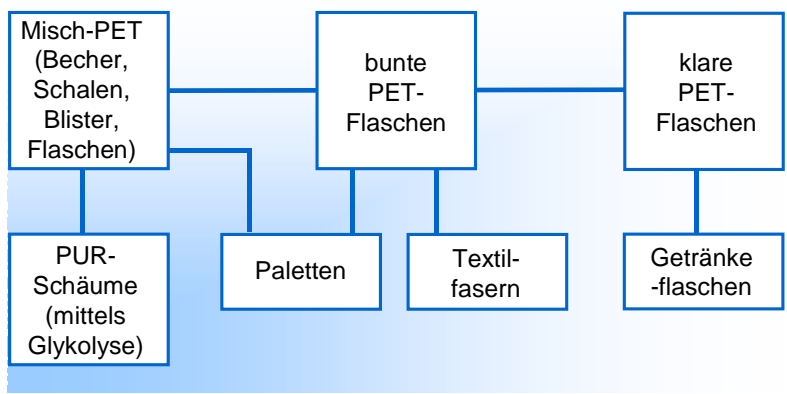


Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH

Perspektiven im Kunststoffrecycling  
Ökoeffizienz und Marktorientierung

„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg

### KONZEPTE FÜR MARKTORIENTIERTE UND INNOVATIVE VERWERTUNG BEI PET



The diagram shows concepts for market-oriented and innovative PET recycling. It branches into three main categories:
 

- Misch-PET (Becher, Schalen, Blister, Flaschen)**: This category leads to **PUR-Schäume (mittels Glykolyse)**.
- bunte PET-Flaschen**: This category leads to **Paletten** and **Textilfasern**.
- klare PET-Flaschen**: This category leads to **Getränke-flaschen**.

Köln, 2001, © DKR

 <p>Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH</p>	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h2 style="text-align: center;">MARKTFÄHIGE PRODUKTE</h2> <div style="text-align: center;"><p><b>Schaukelpferd</b>      <b>Regranulat</b>      <b>Stuhl</b></p><p><b>Abstandshalter</b>      <b>Paneelen</b>      <b>Gefahrgutpalette</b>      <b>Rohre</b></p></div> <p style="text-align: right;">Köln, 2001, © DKR</p>

 <p>Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-Recycling mbH</p>	<p>Perspektiven im Kunststoffrecycling Ökoeffizienz und Marktorientierung</p>
<p>„Neuere Entwicklungen zur Erfassung und Verwertung von Kunststoffabfällen“, 08. November 2001, LfU, Augsburg</p>	<h2 style="text-align: center;">MARKTPLATZ FÜR PRODUKTE AUS RECYCELTEM KUNSTSTOFF: <a href="http://WWW.CYCLEPLAST.DE">WWW.CYCLEPLAST.DE</a></h2> <p style="text-align: center;">Regranulate, Fertigprodukte und Halbzeuge</p> <div style="text-align: center;"></div> <p style="text-align: right;">Köln, 2001, © DKR</p>

# Systematische, ökologische und ökonomische Fragen zur Verwertung von Altkunststoffen aus Verpackungen

Prof. Dr.-Ing. Günter Fleischer, TU Berlin

## 1. Einleitung

Die Steinzeit, die Bronze- und die Eisenzeit charakterisieren Entwicklungsphasen der Menschheit anhand von anorganischen Werkstoffen. Sie sind u.a. Beleg für die frühe Nutzung von Metallen, entweder so, wie sie natürlich vorkamen (gediegenes Kupfer, Meteoriteneisen), oder durch relativ einfache Maßnahmen – schon sehr früh in der Entwicklungsgeschichte des Menschen – aus den natürlichen Vorkommen gewonnen werden konnten. Diese Werkstoffe wurden wegen ihrer spezifischen „natürlichen“ Eigenschaften genutzt. Dabei ist eine wiederholte Nutzung dieser Werkstoffe so alt wie die Werkstoffe selbst.

Kunststoffe dagegen wurden vergleichsweise erst spät „künstlich“ geschaffen, um bestimmte Funktionen zu erfüllen. Hinzu kam die partielle Verdrängung der „etablierten“ Werkstoffe (z.B. Holz, Metall, Glas), so daß der Anteil der Kunststoffe in komplexen Produkten (z.B. bei der Waschmaschine auf mehr als 20 Gewichtsprozent) und an Verpackungen signifikant anstieg.

## 2. Was ist ein Altkunststoff?

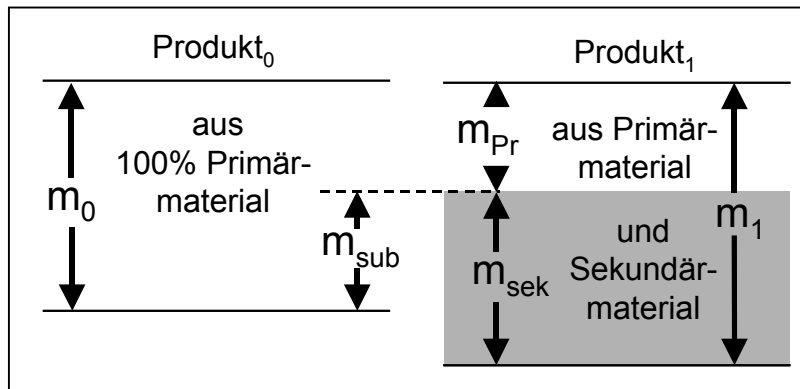
Aus dem Rohstoff Öl werden am Ende der Verfahrenskette Kunststoffe durch Polymerisation, Polykondensation, usw., d.h. künstliche Makromoleküle erzeugt. Ihre spezifischen Eigenschaften erhalten Kunststoffe zum einen durch Molekülstruktur und Kettenlänge (Konstitution, Konfiguration und Konformation) und zum anderen durch verschiedenste Zusatzstoffe. Altkunststoffe liegen erst nach der Gebrauchsphase, d.h. nach der Nutzung dieser Stoffe, ggfs. mit Eigenschaftsveränderungen und anhaftenden Verunreinigungen vor. Kunststoffabfälle aus der Produktion fallen nicht unter den Altkunststoffbegriff.

Eine Vermischung von Altkunststoffen führt auch zu einer Vermischung der jeweiligen Zusatzstoffe und damit zu undefinierten Eigenschaftsprofilen. Dieser Aspekt wird durch nicht entfernbare Verschmutzungen verstärkt. Weiterhin führt auch die Beschädigung der Makromoleküle, beispielsweise durch Alterung und/oder dem sogenannten werkstofflichen Recycling zu Eigenschaftseinbußen der Recyclate.

## 3. Was ist Verwertung/Recycling?

Verwertung – als eine der Möglichkeiten des Recyclings – liegt genau genommen nur dann vor, wenn marktgängige Primärprodukte durch die Ergebnisse der Verwertung substituiert werden. Dies kann grundsätzlich auf dem Qualitätsniveau der Primärprodukte erfolgen (Wiederverwertung) oder auf einem niedrigerem Niveau (Weiterverwertung/Down-Cycling). Seltener sind die Fälle, in denen das Sekundärprodukt ein besseres Qualitätsspektrum aufweist als das Primärprodukt (Up-Cycling).

Eine Raffination von Kunststoffen ist aufgrund der Werkstoffcharakteristik praktisch nicht möglich. Daher ist insbesondere bei den Massenkunststoffen mit einer Verringerung des Eigenschaftsniveaus zu rechnen. Durch das werkstoffliche Recycling erzeugte Sekundärmaterialien (Recyclate) können ggfs. durch größere Wandstärken oder aber auch durch Zumischung von Primärmaterialien auf das notwendige Qualitätsniveau gehoben werden. Hier stellt sich allerdings die Frage, wieviel Primärmaterial durch das Recyclat tatsächlich substituiert wird. Der Umfang der Substitution ist direkt von der Qualität des erzeugten Sekundärmaterials abhängig.



**Abb. 1:** Zusammenhang zwischen Beimengung ( $m_{sek}$ ) und Substitution ( $m_{sub}$ ) [1]

Das Maß der Substitution wird durch den Substitutionsfaktor  $S$  (Gleichung 1) beschrieben [2] und in Abbildung 1 dargestellt. Die Recyclingrate wird häufig in der Form des Beimengungsfaktors  $B$  angegeben (Gleichung 2), während die richtige Recyclingrate – bezogen auf ein Produkt – nach obiger Definition aus dem Quotienten der substituierten Menge  $m_{sub}$  zur Ausgangsmenge im Primärprodukt  $m_0$  gebildet wird (Gleichung 3). Aus diesen Zusammenhängen lässt sich die Recyclingrate  $R$  für  $n_0$  Primärprodukte und  $n_1$  Sekundärprodukte als Funktion des Substitutionsfaktors und der Erfassungs- und Verwertungsquoten  $Q_{erf}$  und  $Q_{ver}$  ableiten (Gleichung 4).

$$S = \frac{m_{sub}}{m_{sek}} = \frac{m_0 - m_{Pr}}{m_{sek}} \quad (1)$$

$$B = \frac{m_{sek}}{m_1} \quad (2)$$

$$R^1 = \frac{m_{sub}}{m_0} \quad (3)$$

$$R = \frac{n_1 * m_{sub}}{n_0 * m_0} = \frac{n_1 * m_{sek}}{n_0 * m_0} * S \quad (4)$$

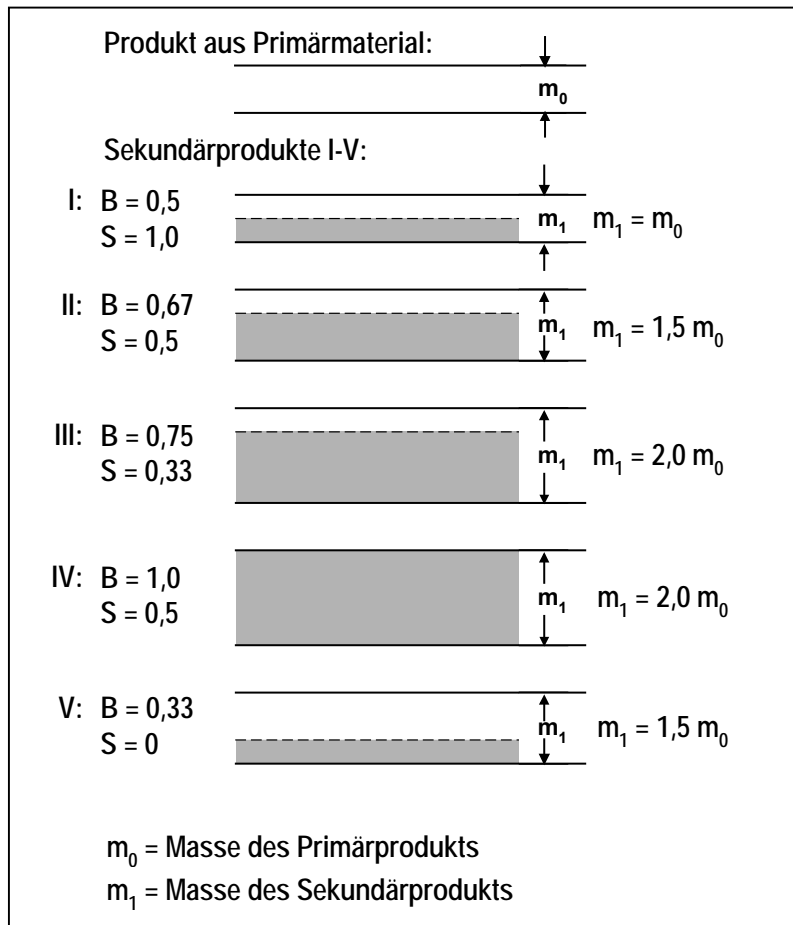
Der Term  $n_1 * m_{sek}$  gibt die genutzte Menge des aus Altkunststoffen gewonnenen Recyclats an. Ist diese Menge gleich der Gesamtmenge Primärmaterial ( $n_0 * m_0$ ), so wird der Quotient in Gleichung 4 zu 1 (Gleichung 5). Gleichung 5 ist auch für den Fall anzuwenden, wenn (theoretisch) der linke Term aus Gleichung 6 größer als der rechte wird.

$$R = Q_{erf} * Q_{ver} * S \quad (5)$$

$$n_1 * m_{sek} = n_0 * m_0 * Q_{erf} * Q_{ver} \quad (6)$$

In diesem Fall ist die Anzahl der Sekundärprodukte  $n_1$  zu bestimmen, für die diese Recyclatmenge ausreicht. Gleichung 4 ist dagegen nur dann anzuwenden, wenn die Recyclatmenge nicht ausreicht, d.h. wenn weniger Sekundärprodukte erzeugt werden können, als dem linken Term der Gleichung 6 entspricht. Beispielsweise müssten für den Fall I aus Abbildung 2 bei  $Q_{erf} * Q_{ver} = 0,8$  die Zahl von 160 Sekundärprodukten erzeugt werden. Wird die Gesamtproduktionsmenge aufgrund der Marktsituation nicht erhöht, so kann  $n_{1,max}$  nur gleich  $n_0$  werden.

Daraus resultiert eine Reduzierung der Recyclingrate von 0,8 auf 0,5 (Tabelle 1). Anders als durch eine Produktionserhöhung könnte die Recyclingrate durch Erhöhung der Beimengung bei gleichem Substitutionsfaktor von 1 gesteigert werden. Dies ist jedoch eine Frage der Qualität des Recyclats.



**Abb. 2:** Beispiele für Substitutions- und Beimengungsfaktor [1]

Weiterhin sind die Fälle IV und V in Abbildung 2 bemerkenswert. Im Fall IV ist der Beimengungsfaktor 1, d.h. das Produkt wird zu 100% aus Sekundärmaterialien erzeugt. Dennoch ergibt sich ein Substitutionsfaktor von 0,5. Diese Tatsache resultiert daraus, dass selbst bei 100%-iger Erfassungs- und Verwertungsquote nur die halbe Anzahl an Produkten aus Sekundärmaterial erzeugt werden kann. Die andere Hälfte müsste aus 100% Primärmaterial erzeugt werden. Im Fall V wird demonstriert, wie ein Beimengungsfaktor von 33% dennoch zu einem Substitutionsfaktor und damit auch zu einer Recyclingrate von 0 führt. In diesem Fall wird für das Sekundärprodukt die gleiche Menge an Primärmaterial eingesetzt wie für das Primärprodukt, und die Menge Sekundärmaterial dient nur dem Massezuwachs des Produktes, aber zu keiner Substitution.

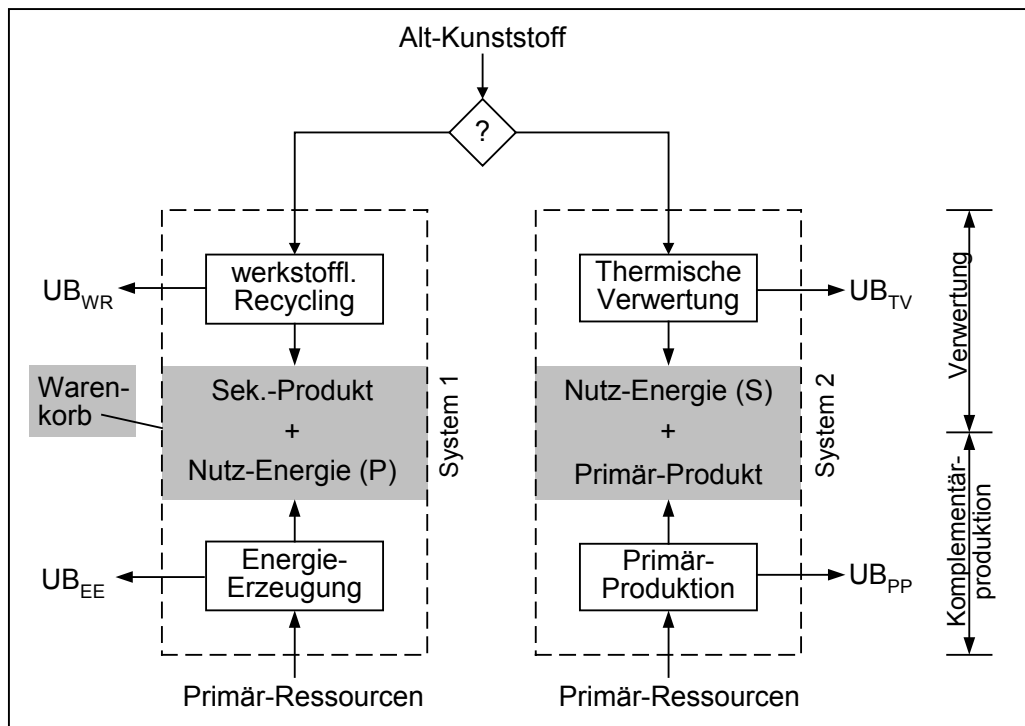
**Tabelle 1:** Die Recyclingrate für die Beispiele aus Abbildung 2

Fall	B	S	$m_{\text{sek}}$	$n_0 * m_0$ ( $m_0=1$ )	$n_1$ ( $n_1 \leq n_0$ )	$Q_{\text{erf}} * Q_{\text{ver}}$	$R_{\text{WR}}$	
I	0,5	1,0	0,5	100	100 (160)	0,8	0,5 (0,8)	(Gl. 4)
II	0,67	0,5	1,0	100	80	0,8	0,4	(Gl. 5)
III	0,75	0,33	1,5	100	53	0,8	0,27	(Gl. 5)
IV	1,0	0,5	2,0	100	40	0,8	0,4	(Gl. 5)
V	0,33	0,0	0,5	100	100 (160)	0,8	0,0	(Gl. 4)

**4. Vorteilhaftigkeit bestimmbar?**

Kunststoffe können prinzipiell auf mehrere verschiedene Wege verwertet werden. Der Gesetzgeber fordert prioritär das sogenannte werkstoffliche Recycling. Abgesehen von den technischen Grenzen, die eine geforderte Qualität des Recyclats verhindern und damit die tatsächliche Recyclingrate in Frage stellen (siehe Kapitel 3), ist die Frage nach der Vorteilhaftigkeit des werkstofflichen Recyclings gegenüber anderen Verwertungswegen zu beantworten. Hierzu soll sowohl die Vorteilhaftigkeit aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht hinterfragt werden.

Ein objektiver Vergleich der Verwertungswege setzt die Nutzengleichheit der zu vergleichenden Systeme (Verwertungswege) voraus. In der oberen Hälfte der Abbildung 3 sind zwei Alternativen der Verwertung – das werkstoffliche Recycling und die thermische Verwertung – schematisch dargestellt. Das werkstoffliche Recycling liefert ein Sekundärprodukt, welches ein Primärprodukt substituiert (Definition des Recyclings), während die thermische Verwertung Nutzenergie bereitstellt, die sonst aus Primärressourcen erzeugt werden müsste. Ein Vergleich der Verwertungswege ist aufgrund der unterschiedlichen Sekundärprodukte, d.h. aufgrund unterschiedlicher Nutzen, so nicht möglich.



**Abb. 3:** Nutzengleichheit nach der Warenkorbmethode als Voraussetzung für den ökologischen Vergleich [3]



Die geforderte Nutzengleichheit der beiden Systeme wird durch die Anwendung der Warenkorbmethode (WKM) erreicht [3]: Der jeweilige Warenkorb wird so um das fehlende Produkt ergänzt, dass danach jedes System die gleichen Produkte in Art und Menge enthält (Sekundärprodukt identisch Primärprodukt und Nutzenergie (S) identisch Nutzenergie (P)). Diese Primärprodukte werden im Vergleich so berücksichtigt, als ob sie durch die sogenannte Komplementärproduktion (untere Hälfte der Abbildung 3) tatsächlich erzeugt würden.

Damit werden beide Systeme nutzengleich und der Vergleich der Umweltbelastungen kann erfolgen (Gleichung 7).

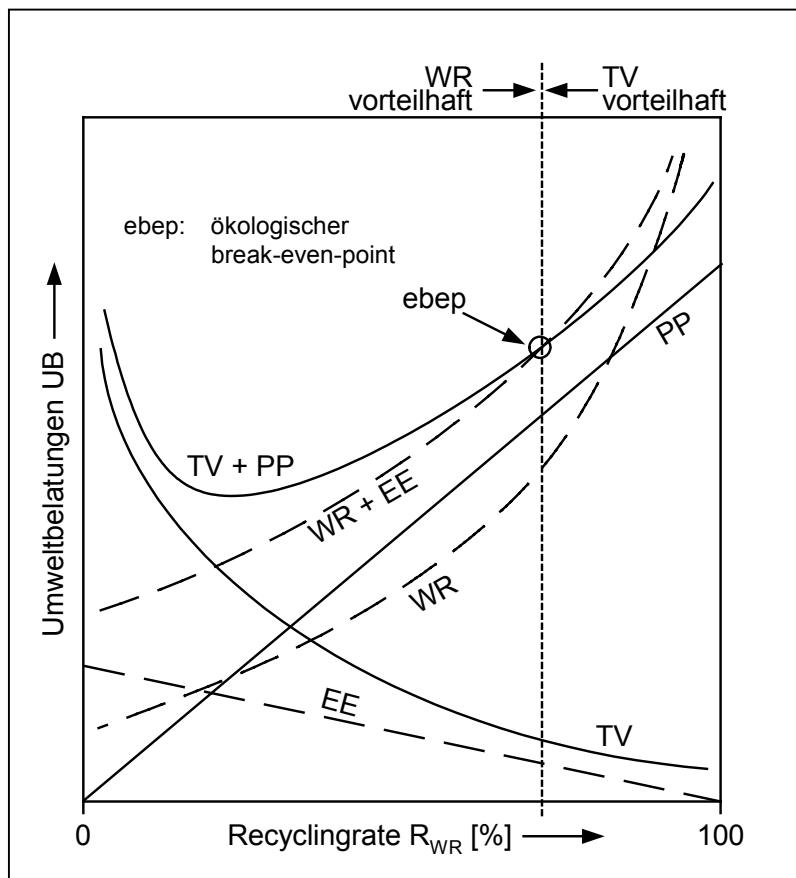
$$(UB_{WR} + UB_{EE})_{S1} \leftrightarrow (UB_{TV} + UB_{PP})_{S2} \quad (7)$$

$$(UB_{WR} + UB_{EE})_{S1} = (UB_{TV} + UB_{PP})_{S2} \quad : \text{ ebep}$$

$$(UB_{WR} + UB_{EE})_{S1} < (UB_{TV} + UB_{PP})_{S2} \quad : \text{ WR besser}$$

$$(UB_{WR} + UB_{EE})_{S1} > (UB_{TV} + UB_{PP})_{S2} \quad : \text{ TV besser}$$

Das prinzipielle Ergebnis dieses Vergleichs – die Umweltbelastungen als Funktion der Rate des werkstofflichen Recyclings - ist in Abbildung 4 so dargestellt, dass werkstoffliches Recycling und thermische Verwertung in der Summe 100% der Altkunststoffe bei einem Substitutionsfaktor von 1 verwerten. Neben den einzelnen Abhängigkeiten sind die daraus resultierenden und für den Vergleich relevanten Summenkurven beider Systeme abgebildet. Der Schnittpunkt dieser beiden Summenkurven bildet den sogenannten ökologischen break-even-point (ebep) an dem die Vorteilhaftigkeit der Verwertungsarten mit steigender Recyclingrate wechselt.



**Abb. 4:** Umweltbelastungen UB der Systeme aus Abb. 3 als Funktion der Recyclingrate R für Werkstoffliches Recycling bei einem Substitutionsfaktor gleich 1

Dieser Schnittpunkt verschiebt sich mit abnehmendem Substitutionsgrad zu geringeren Raten des werkstofflichen Recyclings.

Der wirtschaftliche Vergleich kann, da sowohl Aufwand als auch Nutzen mit der gleichen Größe messbar sind, auch einfacher vorgenommen werden. Dabei kommt es auf die Sichtweise oder anders ausgedrückt, auf die Festlegung der Systemgrenzen an. Wird der betriebswirtschaftliche Ansatz genutzt, so brauchen nur Kosten und Erlöse der werkstofflichen und thermischen Verwertung gegenübergestellt werden (Gleichung 8). Dabei wird jedoch außer Acht gelassen, dass das verhinderte Ergebnis des nicht oder geringer berücksichtigten Verwertungsweges aus Primärressourcen (anderswo) erzeugt werden müsste. Bei Aufhebung dieses Mangels wird das System auf einen volkswirtschaftlichen Ansatz erweitert (Gleichung 9). Wird auch hier die Nutzengleichheit des ökologischen Vergleichs vorausgesetzt, so wird die Qualität der Ergebnisse aus Sekundär- wie aus Primärproduktion gleich und damit auch die Erlöse (Gleichung 10).

$$E_{WR} - K_{WR} \leftrightarrow E_{TV} - K_{TV} \quad (8)$$

$$E_{WR} - K_{WR} + E_{EE} - K_{EE} \leftrightarrow E_{TV} - K_{TV} + E_{PP} - K_{PP} \quad (9)$$

$$K_{WR} + K_{EE} \leftrightarrow K_{TV} + K_{PP} \quad (10)$$

Es ist festzustellen, dass sowohl der ökologische als auch der ökonomische Vergleich in analoger Weise durchzuführen ist, sofern Problemverlagerungen vermieden werden sollen.

## 5. Verwertung verbesserbar?

Um die Frage, ob die Verwertung verbesserbar ist, zu beantworten, muss grundsätzlich zwischen „bestehenden“, d.h. heute genutzten und erzeugten Produkten sowie „neuen“, d.h. zukünftigen und vor dem Produktentwicklungsprozess (PEP) stehende Produkte unterschieden werden. Für die erste Gruppe gelten die allgemein bekannten Maßnahmen, wie möglichst sortenreine Erfassung, Vermeidung von Verschmutzung, geeignete Logistik und Verwertungsverfahren, Garantien für Sekundärprodukte, usw. An der Recycling- bzw. Verwertungsfähigkeit der bestehenden Produkte lässt sich jedoch nur noch durch neu zu entwickelnde Verwertungsverfahren etwas ändern.

Die Recyclingfähigkeit lässt sich - wie gebrauchts- oder fertigungstechnische Eigenschaften - dem neuen Produkt nur im Produktentwicklungsprozess vermitteln. Wird es dann später zu einem „bestehenden“ Produkt, so gelten dann die bekannten Maßnahmen.

Aus der Vielzahl der Vorschläge für die Verbesserung der Recyclingfähigkeit ist die neue VDI-Richtlinie 2243 hervorzuheben [4]. Sie hat zum Ziel dem Entwickler und dem Konstrukteur Informationen und Anleitungen - für die einzelnen Phasen der Produktentwicklung - zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit zu geben und beschränkt sich dabei auf einfach nachvollziehbare Zusammenhänge.

Das komplexe Instrument euroMat (entwicklungsbegleitendes Instrument für umwelt- und recyclingorientierte Materiallösungen) [5], [6] berücksichtigt dem gegenüber den vollständigen Lebensweg des Produktes (Entwicklung, Produktion, Konsumtion und Entsorgung (Recycling und Beseitigung)) sowie integrativ die Aspekte Materialauswahl, Fertigung, Recycling, Umwelt und Kosten, mit all den Wechselwirkungen und Rückkopplungen sowohl über den Lebensweg des Produktes, als auch zwischen den in den einzelnen Modulen bearbeiteten Aspekten. Dem Wissenszuwachs im Produktentwicklungsprozess entsprechend ermöglicht euroMat durch eine iterative Vorgehensweise, bereits für alle genannten Aspekte auf Basis von qualitativen Informationen (1. Iteration) und halb- bzw. teilquantitativen Daten (2. und 3. Iteration) frühzeitig objektive Aussagen zu treffen. Die Systemgrenze wird entsprechend dem Wissenszuwachs so erweitert, dass, wie in Kapitel 4 bereits erwähnt, Problemverlagerungen ausgeschlossen werden. Beispielsweise werden nicht die Kosten eines Akteurs im Lebensweg des Produktes berücksichtigt, sondern die Summe der Kosten aller Akteure (Life-Cycle-Costing). Allerdings können für die einzelnen Segmente die jeweiligen Einzelwerte ausgewiesen werden. Die Notwen-

digkeit, prospektiv gesicherte Aussagen zu erhalten, wird daran deutlich, dass im Produktentwicklungsprozess bereits zwischen 70 bis 90% der Kosten über den Produktlebensweg festgelegt werden [7].

Dies gilt in gleichem Maße für die Recyclingfähigkeit und für die Umweltbelastungen.

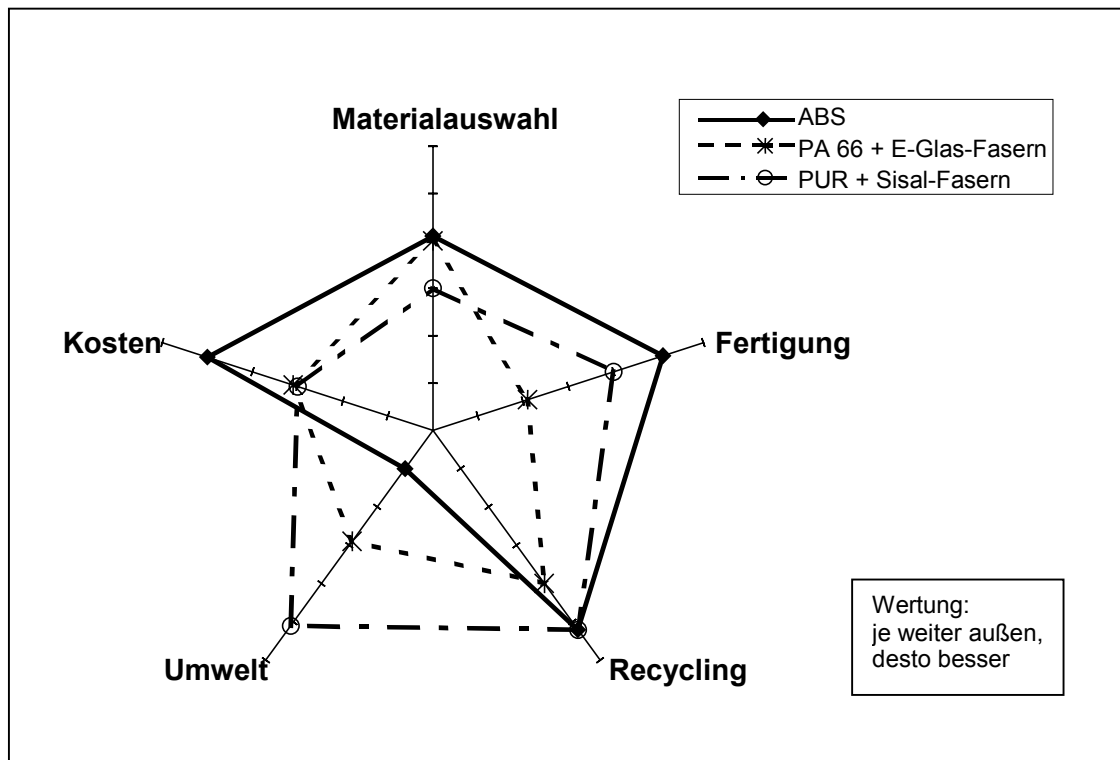
Mit euroMat können die ersten Aussagen unmittelbar nach der Fixierung der Produktidee und dann entwicklungsbegleitend weitergehend erarbeitet werden.

Ein Beispiel für die Bewertung der Recyclingfähigkeit verschiedener Werkstoffe für eine konkrete Türinnenverkleidung eines Leichtbau-Lkw's ist in Tabelle 2 angegeben.

**Tabelle 2:** Ergebnisse (Übersicht) nach der 3. Iteration durch euroMat für die Türinnenverkleidung (Beispiel)

Materialname	Kurzform	Verwertungswege: werkstofflich	Eignung	Ranking	Verwertungswege: rohstofflich	Eignung	Ranking	Verwertungswege: energetisch	Eignung	Ranking	Beste Variante
Acrylnitril-Butadien-Styrol (Referenzmaterial)	ABS	werkstoffliches Recycling: Urformen aus dem plastischen Zustand: Spritzgießen	sicher geeignet	2	rohstoffliches Recycling: Hochtemperaturpyrolyse	sicher geeignet	4	energetische Verwertung: im Zementofen	sicher geeignet	1	energetisch
Polyhexamethylenadipinamid	PA 66	werkstoffliches Recycling: Urformen aus dem plastischen Zustand: Spritzgießen	sicher geeignet	2	rohstoffliches Recycling: solvolytisch: saure Spaltung	sicher geeignet	4	energetische Verwertung: im Dampfkessel	sicher geeignet	1	energetisch
Aluminium, knetlegiert + Schicht aus vernetztem Polyurethan	Al + PUR-Schicht	werkstoffliches Recycling: Urformen aus dem flüssigen Zustand: Schwerkraftgießen	sicher geeignet	1	-	-	-	-	-	-	werkstofflich
ABS/PC-Blend + Fasern aus Pflanzenhaaren (Baumwolle)	ABS/PC + Bw-Fasern	werkstoffliches Recycling: Urformen aus dem plastischen Zustand: Spritzgießen	sicher geeignet	4	rohstoffliches Recycling: Hochtemperaturpyrolyse	sicher geeignet	4	energetische Verwertung: im Dampfkessel	sicher geeignet	1	energetisch
Polyhexamethylenadipinamid + Fasern aus Kalk-Alumino-Borosilikatglas	PA 66 + E-Glas-Fasern	werkstoffliches Recycling: Urformen aus dem plastischen Zustand: Spritzgießen	sicher geeignet	2	rohstoffliches Recycling: Hochtemperaturpyrolyse	evtl. geeignet	5	energetische Verwertung: im Zementofen	evtl. geeignet	3	werkstofflich
Polypropylen + Fasern aus Kalk-Alumino-Borosilikatglas	PP + E-Glas-Fasern	werkstoffliches Recycling: Urformen aus dem plastischen Zustand: Spritzgießen	sicher geeignet	2	rohstoffliches Recycling: Hochtemperaturpyrolyse	evtl. geeignet	5	energetische Verwertung: im Zementofen	evtl. geeignet	3	werkstofflich
Polyurethane + Fasern aus Blattfasern	PUR + Sisal-Fasern	werkstoffliches Recycling: Partikelrecycling + Urformen aus dem flüssigen Zustand: Schwerkraftgießen	evtl. geeignet	1	rohstoffliches Recycling: Hochtemperaturpyrolyse	sicher geeignet	4	energetische Verwertung: im Zementofen	sicher geeignet	1	energetisch

Hier sind die in Frage kommenden Verwertungswege mittels euroMat identifiziert und vergleichend bewertet, um dann als Ranking „1“ am besten angegeben zu werden. Eine Aussage über die Vorteilhaftigkeit einer Werkstoffvariante ist allerdings allein auf dieser Basis nicht möglich. Die Beurteilung der weiteren Aspekte ist hinzuzufügen. Ein solches Gesamtergebnis nach der dritten Iterations-Stufe (teilquantitativ) ist als Ergebnisspinne für drei Werkstoffe der Tabelle 2 dargestellt (Abbildung 5). Das gewählte Beispiel macht nochmals deutlich, dass die Beurteilung des Recyclings bzw. der Recyclingfähigkeit allein für eine – von den Fachleuten zu treffenden – Gesamtaussage nicht ausreicht. Weiterhin ist der Abbildung zu entnehmen, dass die Vorteilhaftigkeit des Recyclings nicht zwingend gleichbedeutend mit der Vorteilhaftigkeit der Umweltverträglichkeit sein muss.



**Abb. 5:** Ergebnisspinne für die Türinnenverkleidung eines PKWs (s.a. Tabelle 2) nach der 3. Iteration durch euroMat [6]

## 6. Zusammenfassung

Kunststoffe sind im Vergleich zu anorganischen Werkstoffen sehr „junge“ Werkstoffe und sie mussten bzw. müssen ihren Platz zwischen den etablierten Werkstoffen erstreiten. Deutlich wird dies u.a. durch die steigenden Anteile in komplexen Produkten, aber auch in Verpackungen. Die nach der Nutzung vorliegenden Altkunststoffe sind nicht raffinierbar, so dass Zuschlagsstoffe und Verunreinigungen im werkstofflichen Recycling quasi nur durch das Lösungsrecycling entfernt werden können. Außerdem führt das werkstoffliche Recycling zur Beschädigung der Makromoleküle. Beide Aspekte führen in der Regel zu Eigenschaftseinbußen, so dass die Frage nach der Substitution von Primärkunststoffen durch Sekundärkunststoffe entscheidend für die tatsächlich erzielte Recyclingrate wird: Der Anteil Sekundärmaterial (Beimengungsfaktor) am Produkt gibt allein keinen Hinweis auf die tatsächliche Recyclingrate (s. Tabelle 1).

Für Altkunststoffe gibt es meist mehrere alternative Verwertungswege. Um die Vorteilhaftigkeit eines dieser Wege zu bestimmen, muss die Nutzengleichheit der zu vergleichenden Systeme hergestellt werden. Dies geschieht nach der Warenkorbmethode durch Systemerweiterung.

Deutlich wird bei diesem objektiven ökologischen Vergleich, dass beliebige Erhöhungen von Vorgaben für Recyclingraten zu ökologischen Nachteilen führen. Der ökonomische Vergleich bedarf der gleichen Systemerweiterung wie der ökologische, da sonst Problemverlagerungen, aber keine Gesamtoptima erreicht werden.

Die Verbesserung der Verwertbarkeit und damit der Verwertung kann signifikant nur im Rahmen der Produktentwicklung erfolgen. Dazu müssen bereits zu Beginn des Produktentwicklungsprozesses Instrumente zur Verfügung stehen, die frühzeitig die Alternativen prospektiv bewerten, um später irreparable Fehler zu vermeiden. Das entwicklungsbegleitende Instrument euroMat berücksichtigt dabei den gesamten zukünftigen Lebensweg des Produktes bezüglich der Aspekte Technik, Recycling, Umwelt und Kosten.

Das Beispiel der Türinnenverkleidung für einen Leichtbau-Lkw zeigt auch, daß Recycling nicht zwingend mit einer Verbesserung der Umweltverträglichkeit verbunden ist.

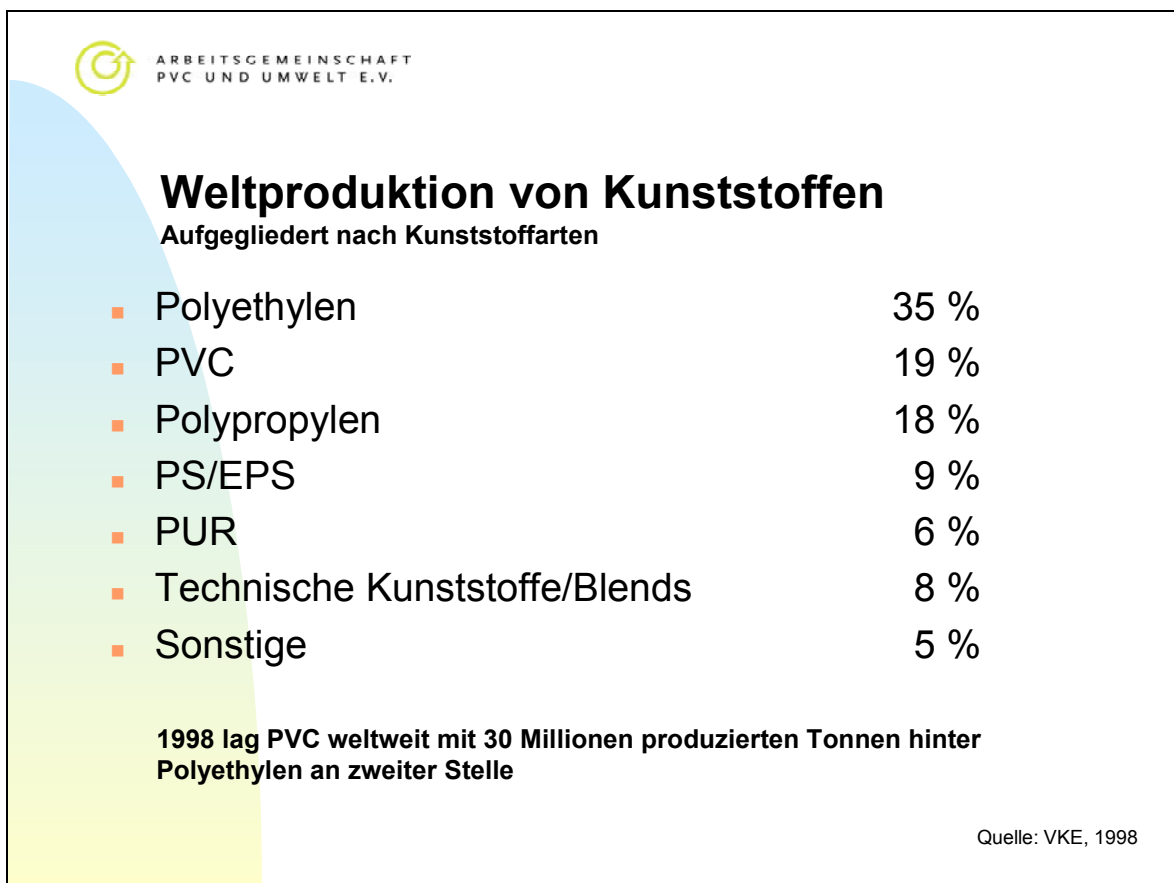
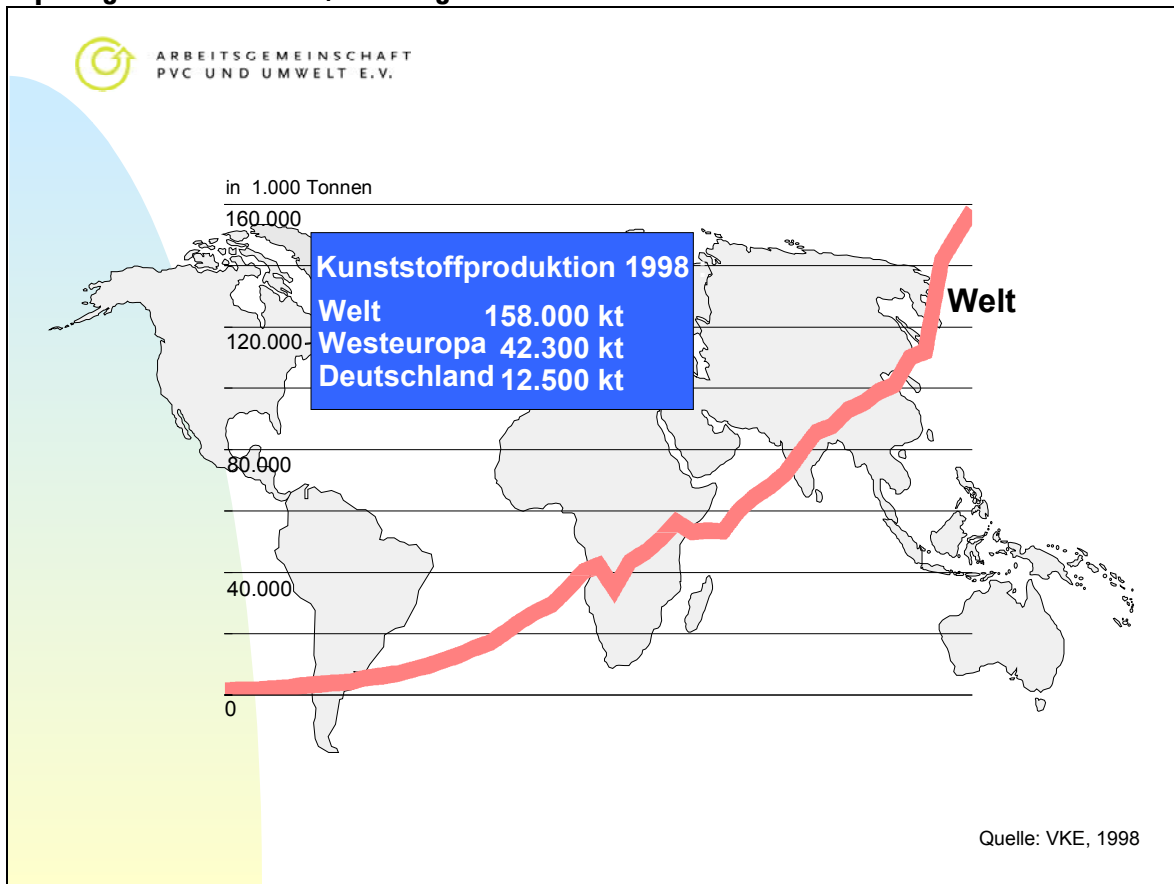
Recycling beginnt beim Beginn des Produktentwicklungsprozesses. Dogmen betreffs Recyclingart und Recyclingrate sind durch objektive Bewertungen zu ersetzen.

### **Literatur:**

- [1] Fleischer, G.:  
Nachsorgende Abfallvermeidung – Recycling (Vorlesungsskript). Berlin, 2001
- [2] Fleischer, G.:  
Methode der Nutzengleichheit für den ökologischen Vergleich der Entsorgungswege für DSD-Altkunststoffe. In: Karl-Joachim Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Management der Kreislaufwirtschaft. Berlin : EF, 1995, S. 360-369
- [3] Fleischer, G.:  
Methodik des Vergleichs von Verwertung-/Entsorgungswegen im Rahmen der Ökobilanz. In: Abfallwirtschaftsjournal (1994), Nr. 10, S. 697-701
- [4] VDI-Richtlinie 2243:  
Recyclingorientierte Produktentwicklung. Berlin : Beuth, 2000
- [5] Fleischer, G. (Hrsg.); Becker, J.; Braunmiller, U.; Klocke, F.; Klöpffer, W.; Michaeli, W. (Mithrsg.):  
Eco-Design - Effiziente Entwicklung nachhaltiger Produkte mit euroMat. Berlin : Springer, 2000
- [6] Institut für Technischen Umweltschutz der TU Berlin, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, C.A.U. Dreieich, CTB CAMTEC Software Berlin, Fraunhofer ICT Pfinztal, Fraunhofer IPT Aachen, Ford-Werke Köln, MAN Technologie Augsburg, Denios Bad Oeynhausen, Sachsenring Entwicklung Zwickau:  
Systematische Auswahlkriterien für die Entwicklung von Verbundwerkstoffen unter Beachtung ökologischer Erfordernisse - euroMat 2001 -, Gemeinsamer Endbericht. Berlin, 2001
- [7] nach Ehrlenspiel, K.:  
Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozessorganisation, Produktherstellung und Konstruktion. München : Hanser, 1995

## Innovative Recyclingverfahren – PVC-Branche favorisiert Recyclingmix

Dipl.-Ing. Michael Vetter, Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.



## PVC-Produktion

- Herstellung und Verarbeitung von PVC erfordern vergleichsweise wenig Energie
- PVC-Herstellung hängt nur zu 43 % von Erdöl bzw. Erdgas ab, zu 57 % basiert PVC auf dem Rohstoff Steinsalz
- Positive Faktoren für die ökobilanzielle Bewertung über den gesamten Lebensweg

Quelle: VKE, 1998

### Einsatzgebiete von PVC/Eigenschaftsprofil



**Erzeugnisse aus PVC sind:**

- steif bei geringer Wandstärke
- schwer entflammbar



- gut elektrisch isolierend
- physiologisch unbedenklich
- chemikalienfest
- korrosionsfest
- verschweißbar
- pflegeleicht



- verklebbar
- gasdicht
- bedruckbar
- aromadicht
- u. v. a. m.





## Recyclingmix für PVC-Abfälle

- Recyclingmix (allgemein):
  - ✓ Recycling (werkstofflich und rohstofflich)
  - ✓ Energetische Verwertung
  
- Verwertungs-Optionen für PVC:
  - ✓ *Werkstoffliches Recycling =>*
    - sortenreine und vorsortierte Produkte =>
      - mechanisch oder über Lösemittel
  - ✓ *Rohstoffliches Recycling =>*
    - Verbundwerkstoffe und Mischkunststoffe =>
      - Verfahren mit Chlorlimitierung (Produkt: Kohlenwasserstoffe)
      - Verfahren ohne Chlorlimitierung (Produkte: Chlorwasserstoff, Kohlenwasserstoffe)
  - ✓ *Energetische Verwertung*

## Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie

- Europäische PVC-Branche hat im März 2000 freiwillige Selbstverpflichtung unterzeichnet
- *Ziele:*
  - Fortlaufende Verbesserung des Umweltschutzes und der Ressourceneffizienz während der Herstellung
  - Nachhaltige Nutzung von Additiven bei PVC-Anwendungen
  - Verantwortungsbewusstes Management von PVC-Produkten am Ende ihrer Nutzungsdauer
  - Die Überwachung der Umsetzung dieser Projekte und die Bereitstellung der Finanzmittel



## Abfallmengenzenario

- Gesamtmenge von PVC-Produkten im Abfall in Deutschland:  
ca. **680 kt** (1995)
  - ✓ davon **189 kt werkstofflich verwertet** (Verwertungsquote: 27%)
  - ✓ davon **165 kt energetisch verwertet** (Verwertungsquote: 24 %)
    - ✓ Anteil „post-consumer“ PVC-Abfall bei werkstofflicher Verwertung  
ca. **50 kt**
  
- EU-Horizontalstudie zu PVC (prognos AG, April 2000):
  - ✓ Deutschland bei recycelter PVC-Abfallmenge in Europa führend
  - ✓ **90 %** des in Deutschland anfallenden PVC-Industrieabfalls werden werkstofflich verwertet
  
- Studie zu Produktions- und Verbrauchsdaten für Kunststoffe in Deutschland (Consultic, September 2000):
  - ✓ Verwertungsquote für PVC-Abfälle aus der Kunststoffverarbeitung bei **95 %**

## Werkstoffliches PVC-Recycling



## Vinyloop-Lösemittelverfahren

- Aufgabenstellung: Trennung von Verbunden (PVC/Polyester), (PVC/Kupfer/PE), (PVC/Alu)
- Voraussetzung: vollständige Löslichkeit von PVC in bestimmten Lösemitteln
- Solvay S.A. (Belgien) hat auf dieser Grundlage das VINYLOOP-Verfahren entwickelt
- Ende April 2001 wurde das Vinyloop-Verfahren mit dem „Techoil-Innovationspreis 2001“ ausgezeichnet

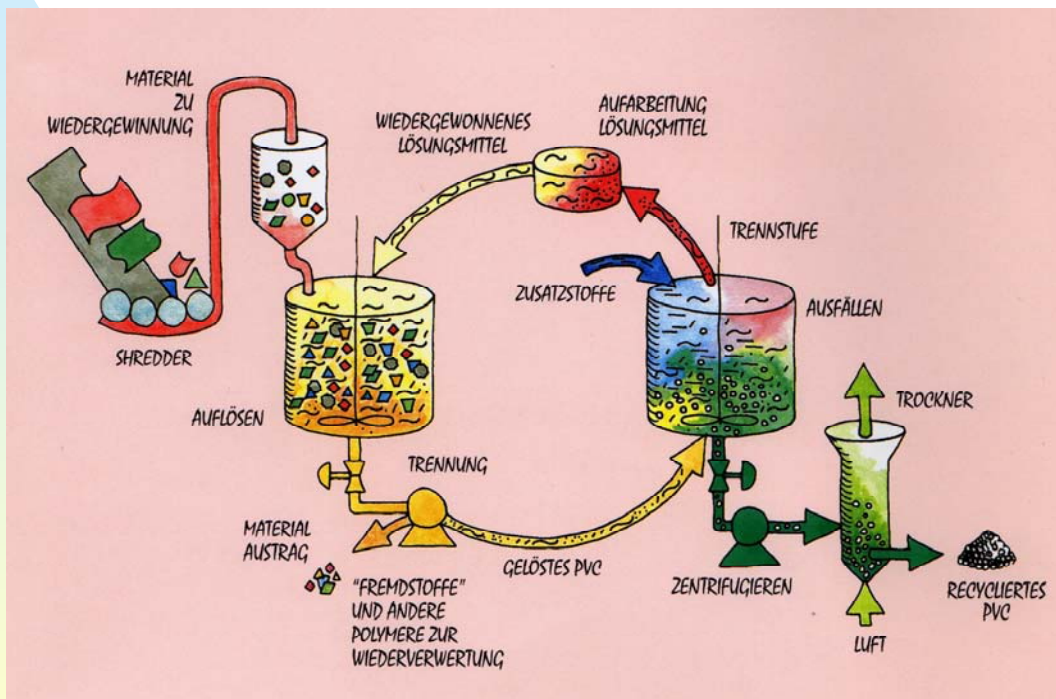
## Vinyloop-Lösemittelverfahren

- Verfahrenstechnik:
  - ◆ Vorzerkleinerung der Verbunde und Zuführung zu Lösereaktor (Lösemittel z.B. Methylethylketon)
  - ◆ Start des Löseprozesses
  - ◆ Abtrennung der unlöslichen Komponenten
  - ◆ PVC-Lösung in Fällungsreaktor pumpen
  - ◆ Unter Einsatz von Wasserdampf kommt es zum Ausfällen des PVC als PVC-Compound

## Vinyloop-Lösemittelverfahren

- ◆ Wässrige Lösung wird in die Phasen Lösemittel und Wasser (mittels Kühlung und Dekantierung) aufbereitet
- ◆ Lösemittel wird Prozess erneut zugeführt
- ◆ Trocknung des PVC
- ◆ Keine weitere Aufbereitung nötig
- ◆ Weiterverarbeitung des PVC-Compound in ursprünglichen Anwendungen
- ◆ Verbundkomponenten (Polyesterfasern, Metalle etc.) werden ebenfalls verwertet

## Vinyloop-Lösemittelverfahren





ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Vinyloop-Lösemittelverfahren

### *Kabelverwertungsanlage (im Bau)*

Standort:	Ferrara, Italien
Kapazität:	10 kt/Jahr
Gesamtinvest.:	10 Mio. €
Fertigstellung:	Anfang 2002



### *Planenrecyclinganlage (in Planung)*

Standort:	Firma Ferrari, Frankreich
Kapazität:	10 kt/Jahr
Gesamtinvest.:	10 Mio. €
Fertigstellung:	2003



ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Rohstoffliches Recycling von PVC

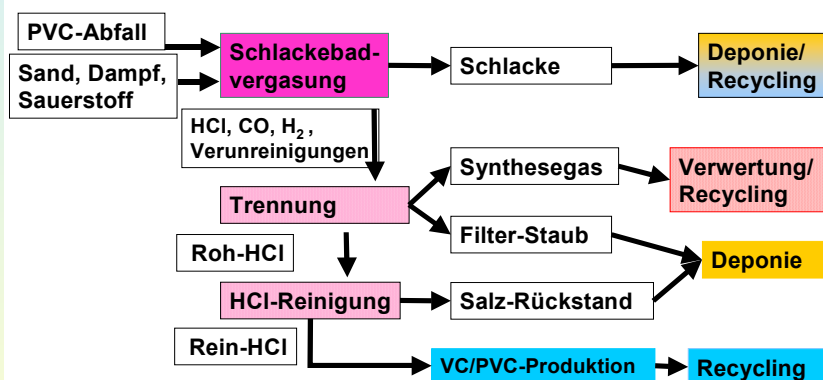
- Recycling-MIX: Ergänzung zum werkstofflichen Recycling
- Besonders geeignet für stark vermischte, verschmutzte und kontaminierte PVC-Abfälle
- Zielprodukte:
  - ✓ Salzsäure
  - ✓ Synthesegas
- Prinzipiell sind folgende Verfahren anwendbar:
  - ✓ Hydrierung
  - ✓ Pyrolyse
  - ✓ Vergasung
  - ✓ Verbrennung
- Spaltung zum Monomer ist nicht möglich

## Linde-Schlackebadvergasung

- Pilotanlage im Juni 2001 in Tavaux (F) in Betrieb gegangen.
- Technik basiert auf dem von Linde-KCA, Dresden, entwickelten Schlackebad-Verfahren.
- Produkte des Verfahrens sind:
  - ✓ Synthesegas
  - ✓ Chlorwasserstoff
- Der europäische Verband der PVC-Hersteller und seine Partner haben insgesamt 3,3 Mio. € in das Projekt investiert
- Nach Abschluss der Versuche mit verschiedenen PVC-Abfällen soll im Jahre 2002 die Entscheidung über den Bau einer Großanlage fallen.

## Rohstoffliches Recycling von PVC

### Linde-Schlackebad-Vergasung (Schematisch)



## Drehrohrofen-Verwertungsanlage

- Im September 1999 wurde die Anlage der Buna Sow Leuna Olefinverbund (BSL) – heute DOW – in Schkopau offiziell in Betrieb genommen
  - Gesamtinvestition: 50 Mio. € ; Gesamtkapazität: 45.000 t
  - 21 neue Arbeitsplätze
  - Verfahrenstechnik:
    - ✓ Drehrohrofenverbrennung bei Temperaturen  $> 1.100\text{ °C}$
    - ✓ Produkte:
      - ☞ Kohlenwasserstoffe: Erzeugung von Dampf und Wärme
      - ☞ **Chlorwasserstoff**: Weiterverarbeitung zu Salzsäure
- ↓
- REINSÄURE** DIEN AM STANDORT ALS AUSGANGSPRODUKT  
ZUR HERSTELLUNG VON PVC

## Drehrohrofen-Verwertungsanlage





ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Drehrohrofen-Verwertungsanlage

- Zur Zeit wird ein 1.000 Tonnen Großversuch mit verschiedenen PVC-Abfällen durchgeführt:
  - ✓ Planen, Kunstleder, Klebefolien, Bodenbelägen, Kabeln
- Ziel: Erfahrungen auf dem Sektor des Abfallmanagements und der Logistik sammeln
  - ✓ Produktspezifikation
  - ✓ Verpackung
  - ✓ Vorbehandlung
  - ✓ Transport
- Verwertungspreis: 200 DM/t (frei angeliefert)
- Mengenakquise durch Mailing an ca. 450 Firmen
  - ✓ Resonanz: etwa 50 Rückläufe



ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Rohstoffliches PVC-Recycling

- Weitere Optionen im Bereich des rohstofflichen Recyclings werden zur Zeit untersucht:
  - ✓ Kombiniertes Hydrolyse- und Pyrolyseverfahren (DK)
  - ✓ Zweistufiges Pyrolyseverfahren (DK)
  - ✓ Dehydrochlorierung aus gemischten Kunststoffabfällen (NL)





ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Energetische Verwertung

- PVC ist nicht die einzige Chlorquelle im Hausmüll
- Invest.- und Abschreibungskosten einer MVA sind deshalb unabhängig von der Anwesenheit von PVC
- PVC verursacht in Müllverbrennungsanlagen keine Belastungen die den Betrieb stören
- Bei den Abfallbehandlungskosten liegt PVC im Mittelfeld mit anderen Werkstoffen (Bertin-Studie „Incineration of PVC and other products in MSW“, 11/2000)
- Dioxinmissionen moderner MVA sind gering
- Chlorid-Korrosion ist nicht chlor-konzentrationsabhängig
- PVC in der MVA bringt zusätzlich Erlöse:
  - ✓ Strom und Dampf (aufgrund des Heizwertes von PVC)
  - ✓ Salzsäure (bei Neutralisation des HCl aus dem Rauchgas durch Wasser)



ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Müllverbrennung mit Salzsäurerückgewinnung





ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.

## Versuche bei der Müllverwertungsanlage Rugenberger Damm (MVR), Hamburg

- Für Versuch akquirierte Gesamtmenge PVC-Abfall: ca. 450 t (Planen, Kunstleder, Klebefolien etc.)
- Start der Verbrennungsversuche am 08.08.2001
  - ✓ Abfall muss von MVR zur besseren Homogenisierung vorab geshreddert werden
  - ✓ Insgesamt keine Veränderungen der Schlacken-Qualität, der Filterstäube und im Bereich der Dampferzeugung
  - ✓ Proportionale Zunahme der HCl-Ausbeute
  - ✓ Rohgas wurde am 15/16.08 auf PCDD/F, Schwermetalle, PCBs/PAKs und Ammoniak untersucht (Ergebnisse im Oktober)
  - ✓ Nach Abschluss der Versuche wird man im Oktober die mit PVC gefahrene Linie auf Korrosion untersuchen
- Angebot Verwertungskontingent für 2002
- Preis bleibt auch in 2002 stabil bei 150 DM/t (frei angeliefert)
- MVR wird Ergebnisse der Versuche publizieren (Müll & Abfall o.ä.)



ARBEITSGEMEINSCHAFT  
PVC UND UMWELT E.V.


## FAZIT:

- Die PVC-Branche ist ein Industriezweig, der aufgezeigte Probleme lösen kann.
- Durch die „Freiwillige Selbstverpflichtung zur nachhaltigen Entwicklung“ hat sich die PVC-Branche auf allen Stationen des Lebensweges mit erheblichen Anstrengungen für ökologische, ökonomische und soziale Verbesserungen erfolgreich eingesetzt.
- „Sustainable Development“ bezeichnet eine Entwicklung – keinen Zustand.
- Das PVC-Recycling ist bei dieser Entwicklung ein wichtiger Baustein.

# Erfassung und Verwertung von Altteppichen

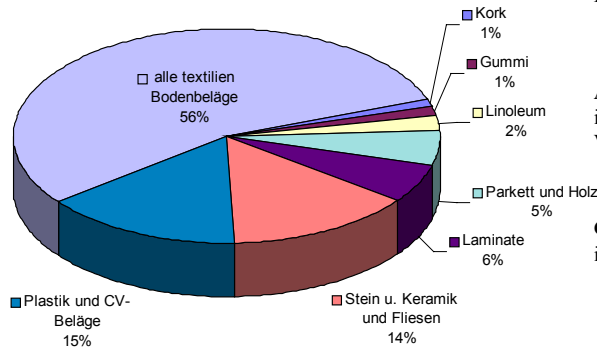
Kerstin Bayer, LfU

<b>„Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“</b>		
<b>Inhaltsverzeichnis des Berichtes: Sammlung und Verwertung von Altteppichen</b> (hrsg. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz)		
<b>1</b>	<b>Altteppiche — eine bedeutende Fraktion</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Materialien und Mengen von Teppichen</b>	<b>6</b>
2.1	Teppicharten	6
2.2	Produktionsmengen	8
<b>3</b>	<b>Verfahren zur Sortierung und Verwertung von Altteppichen</b>	<b>11</b>
3.1	Identifikation von Teppichen	11
3.2	Verfahren zur Verwertung	13
3.2.1	Polyamid-Teppichböden (PA 6, PA 66)	13
3.2.2	Wolle und Polypropylen	19
3.2.3	PET-Teppichböden	19
3.2.4	Sortierreste	19
<b>4</b>	<b>Erfassung von Altteppichen und Teppichresten</b>	<b>21</b>
4.1	Ergebnisse aus Testsammlungen	21
4.2	Teppichreste aus dem Gewerbe	23
4.3	Altteppiche aus Haushalten	24
<b>5</b>	<b>Empfehlung</b>	<b>27</b>
5.1	Altteppiche getrennt sammeln und verwerten	27
5.2	Erfassung von Altteppichen	27
5.3	Kauf von Teppichen	26
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>30</b>
7.1	Kurzbezeichnungen	30
7.2	Teppichsiegel	30
7.3	Liste der Sammelstellen über die Entsorger (Stand: April 2001):	32
7.4	Literaturverzeichnis	41

 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz	Referat 3/1 Kerstin Bayer	Folie 1
--	---------------------------	---------

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Verteilung verbrauchter Fußbodenbeläge im Jahr 1999 (ausgehend von der m<sup>2</sup>-Zahl)



**Verbrauchsmengen:**

Westeuropa 1999: **886 Mio. m<sup>2</sup>**,  
 Deutschland 1999: **257,8 Mio. m<sup>2</sup>** (entspricht rd. 30 %)  
 412 480 t

**Altteppiche**

in Deutschland / a: 450 000 t pro Jahr aus.  
 Verlegefläche: 280 Mio. m<sup>2</sup> (17 km im Quadrat)

**Gesamtproduktion**  
 in Deutschland

222.238 t



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

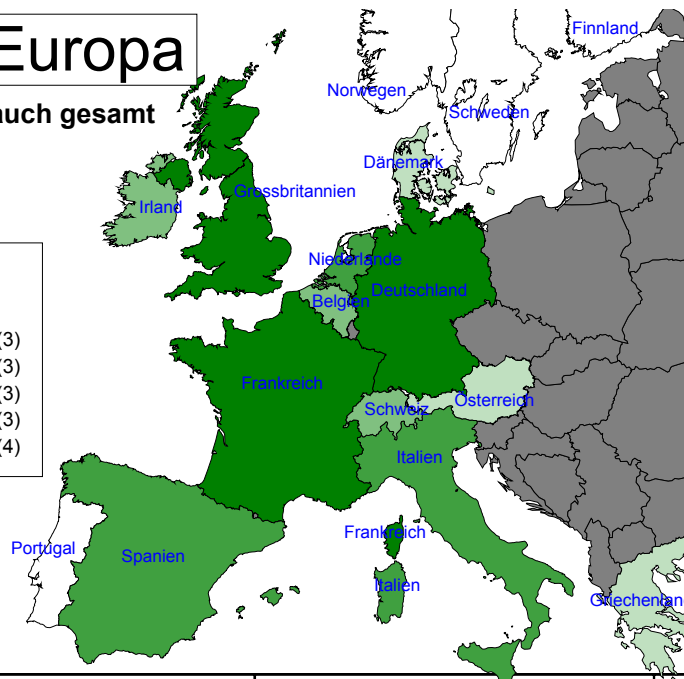
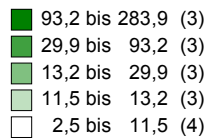
Folie 2

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### West-Europa

#### Teppichverbrauch gesamt 1999

Europa  
in Mio m<sup>2</sup>

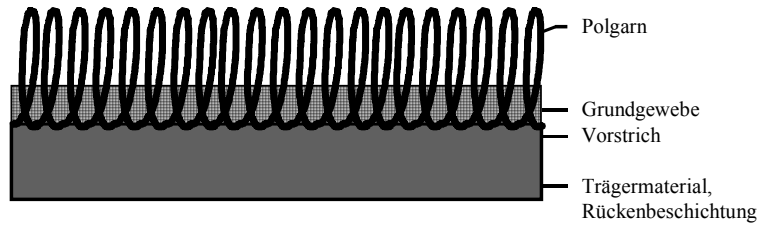
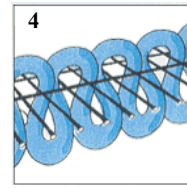
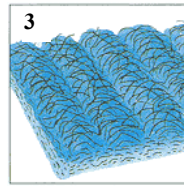
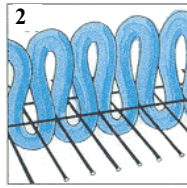
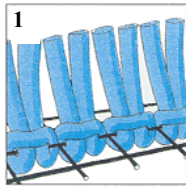


Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 3

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“



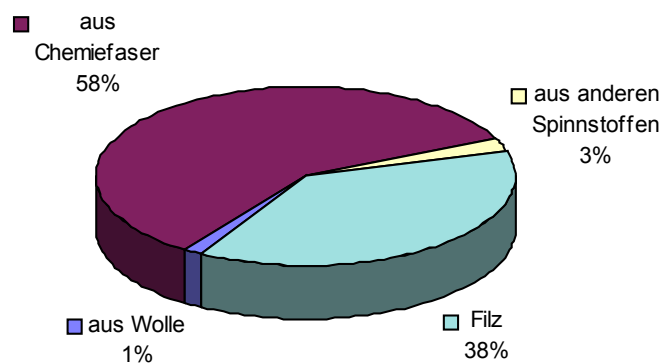
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 4

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

Verteilung der produzierten Teppichmengen (m<sup>2</sup>) auf die Materialien in Deutschland 1999



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

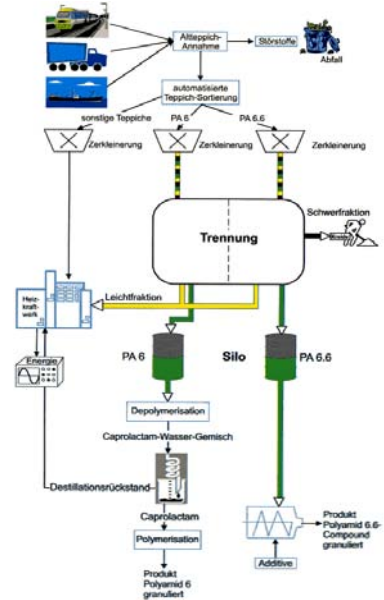
Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 5



## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Polyamid 2000 AG Berlin, Premnitz



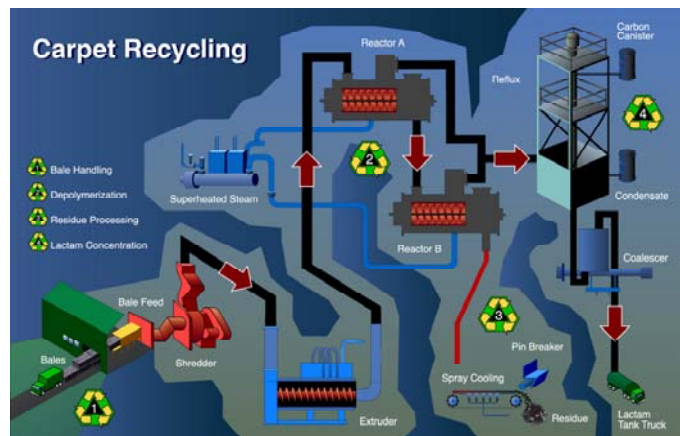
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 8

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Carpet Recycling Europe Evergreen Nylon Recycling llc



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 9

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“



### Wolle und Polypropylen

Zurückgewonnene Wollfasern und Polypropylenfasern zu Dämmstoffen aufbereiten:

- Woll- und Polypropylenfasern durch Reißen aus Teppichbodenfraktionen wiedergewonnen.
- Die Fasern, Wolle und Polypropylen im gewünschten Verhältnis (z.B. 80/20) mischen.
- Herstellung einer unverfestigten Dämmmatte.
- Verfestigung der Dämmmatte durch Thermobonding.



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 10

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Sortierreste

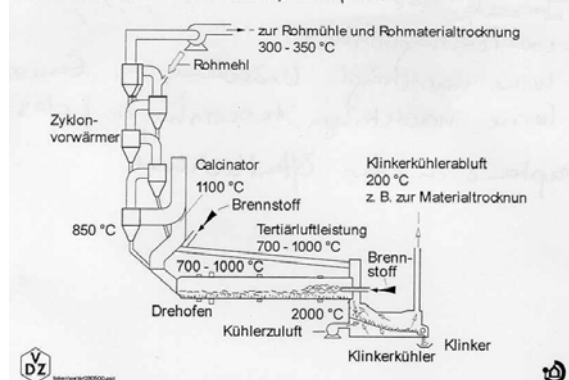
Recotex GmbH, Würzburg



EBS

Material	Heizwert (MJ/kg)
Baumwolle	15
Wolle	20
Polyester	22
Polyacryl	29
Polypropylen	43
Braunkohle	10
Erdöl	45

Klinkerbrennen - ein Hochtemperaturprozess



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 11



## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Sammlung von Alteppichen in Bayern

#### Sammlung über Handel und Handwerk:

CRE :BIG-BAG 80 m<sup>2</sup> Teppich kosten: rd 50.- DM

Container Preise werden ausgemacht

vom Endkunden:

z.B. TTL (Teppichfachhandelsgeschäften) etwa 50 Filialen

5,50 DM/m<sup>2</sup> für das Entfernen eines verklebten Teppichs

+ 2,50 DM/m<sup>2</sup> für die Entsorgung des Teppichs verlangt

(incl. sind Transport zur Sammelstelle in die

Sortierungsanlage, Lagerung Big-Bag)

Bag-Service für Handel und Handwerk



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 12

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Sammlung von Alteppichen in Bayern

#### Sammlung über kommunale Abfallentsorgung:

Wertstoffhöfe: über AVA, bzw, Recotex:

Container rund 200- 250 DM/t

Verträge über 5 a

Endkunden :

entweder kostenfrei (in Müllgebühren)

oder

Anlieferung

bei zusätzl. Lieferung: je angef. 20 kg x.- DM



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 13

## „Neuere Entwicklung zur Sammlung und Verwertung von Kunststoffabfällen“

### Umweltpakt Bayern 2001 Flächendeckendes Netz in Bayern über Entsorger



Bayerisches Landesamt für Umweltschutz


Referat 3/1 Kerstin Bayer

Folie 14

## Kunststoffe in Altfahrzeugen: Maßnahmen zur Verwertung der Altkunststoffe aus Altautos und deren neue Einsatzgebiete

Dipl.-Ing. Peter Wiedemann, Wipag Polymertechnik

### EU-Altautodirektive 1



**Vorgabe von Verwertungsquoten für Altautos (Gew.%):**

	1.1.2006	1.1.2015
Stoffliche Verwertung:	80 %	85 %
Energetische Verwertung:	5 %	10 %
Beseitigung (therm./ Deponie):	15 %	5 %

**Diese Verwertbarkeitsquoten müssen spätestens ab dem 1.1.2005 für die Typgenehmigung nachgewiesen werden.**

## Recyclingfähigkeit von Thermoplasten



- **gute Rezyklierbarkeit:**  
PE, PP, PS, SAN, ABS, ASA, PA6, PA66, PPE/PS, SMA
- **Probleme wegen Zersetzung:**  
POM, PVC
- **Probleme wegen Polymerabbau:**  
PBT, PC, PC/PBT, PC/PET

## Aspekte beim Recycling vernetzter Werkstoffe



- **Partikelrecycling:**  
geringer Wert des gewonnenen Pulvers
- **Glycolyse:**  
Mindestens Verfünffachung der Menge durch den Glycolyseweg
- **Flockenverbunde von Weichschäumen:**  
funktionierender Kreislauf

## Vergleich Neuware - Rezyklat



### Neuware

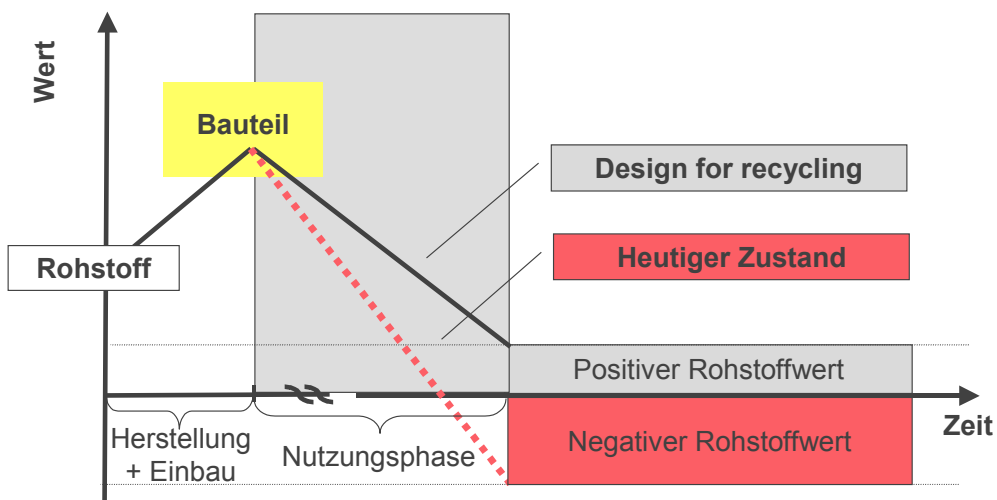
- Farbe definiert
- Werkstoffeigenschaften bekannt
- Werkstoffkennwerte innerhalb spezifizierter Grenzen
- immer in gleicher Qualität verfügbar
- typenrein

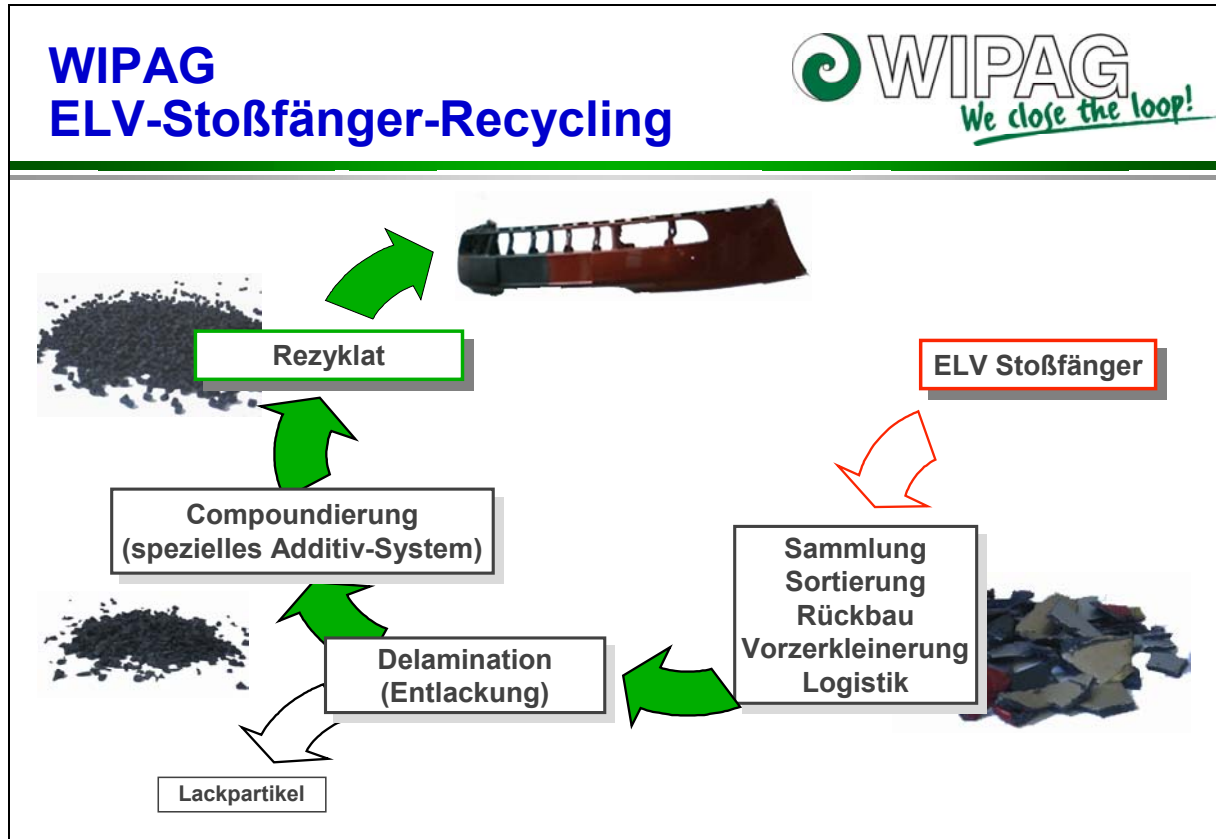
### Rezyklat

- Farbe schwankend
- Werkstoffeigenschaften nur zum Teil bekannt
- Mehrfachverarbeitung ?
- Qualität schwankend
- typenrein ?
- Fremdstoffe ?
- Verfügbarkeit ?
- Reinheit ?

⇒ **Compoundieren**

## Wertentwicklung eines Bauteils

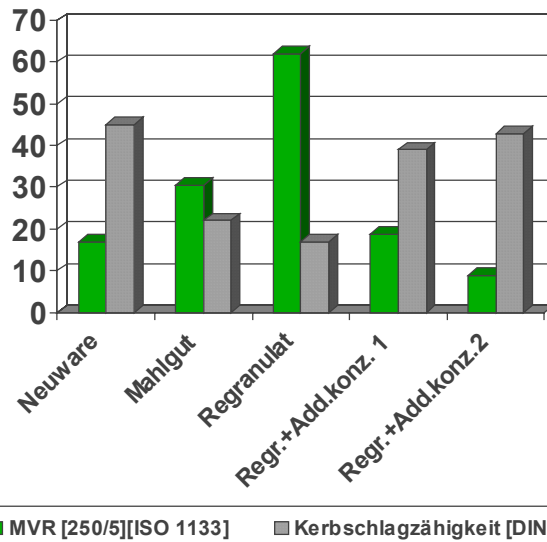




## Mehrfachverarbeitung von Stoßfängerwerkstoffen MFR

	PP/EPDM	PBT/PC
Neuware	7 - 10	7 - 10
Spritzgussteil	7 - 10	16 - 22
Regranulat	7 - 10	22 - 35
neues Spritzgussteil	7 - 10	40 - 55

## PC/PBT Aufbaucompoundierung



## Rezyklateinsatz (1)



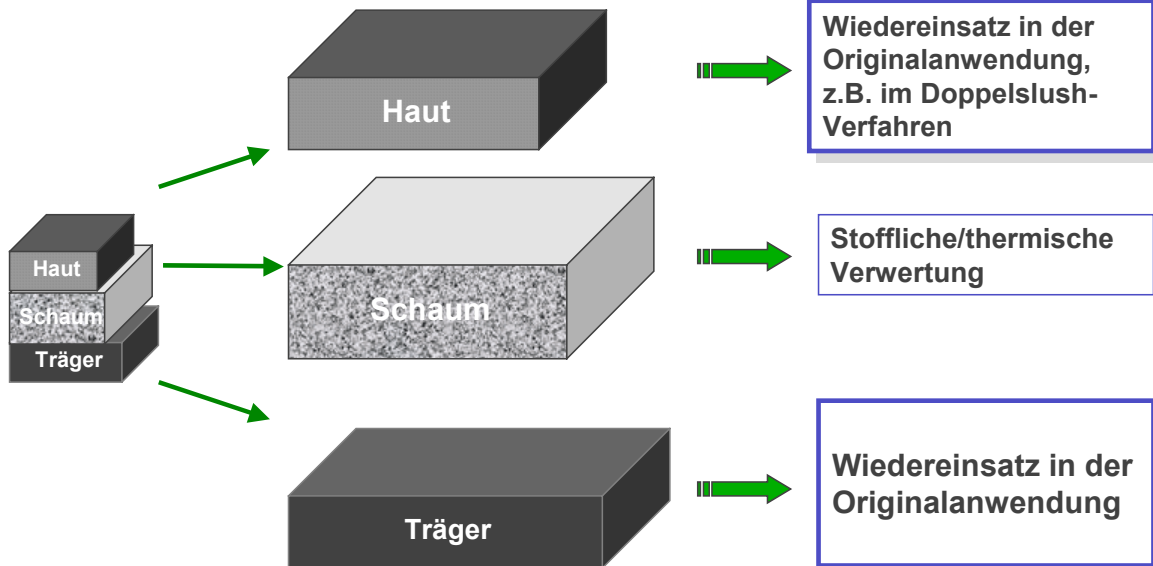
### Aussenteile

- PP/EPDM Mahlgut unlackiert
- PP/EPDM Mahlgut lackiert
- PP/EPDM Mahlgut entlackt
- PP/EPDM Regranulat aus Entlackung
  
- PC/PBT Mahlgut lackiert
- PC/PBT Compound aus lack. Mahlgut
- PC/PBT Mahlgut entlackt
- PC/PBT Compound aus entlacktem Mahlgut
  
- PPE/PA Compound aus entlacktem Mahlgut
- ABS/PA Regranulat aus Entlackung

### Einsatz im Automobil

- ⇒ Stoßfänger Sichtteil
- ⇒ Downcycling
- ⇒ Stoßfänger, Einleger, Nichtsichtteile
- ⇒ Stoßfänger Sichtteil
  
- ⇒ Downcycling
- ⇒ Wiedereinsatz
- ⇒ Wiedereinsatz < 20 %
- ⇒ Sichtteil mit hohem %-Anteil
  
- ⇒ Sichtteil mit hohem %-Anteil
- ⇒ Sichtteil mit hohem %-Anteil

## Trennung von Mehrschichtverbunden



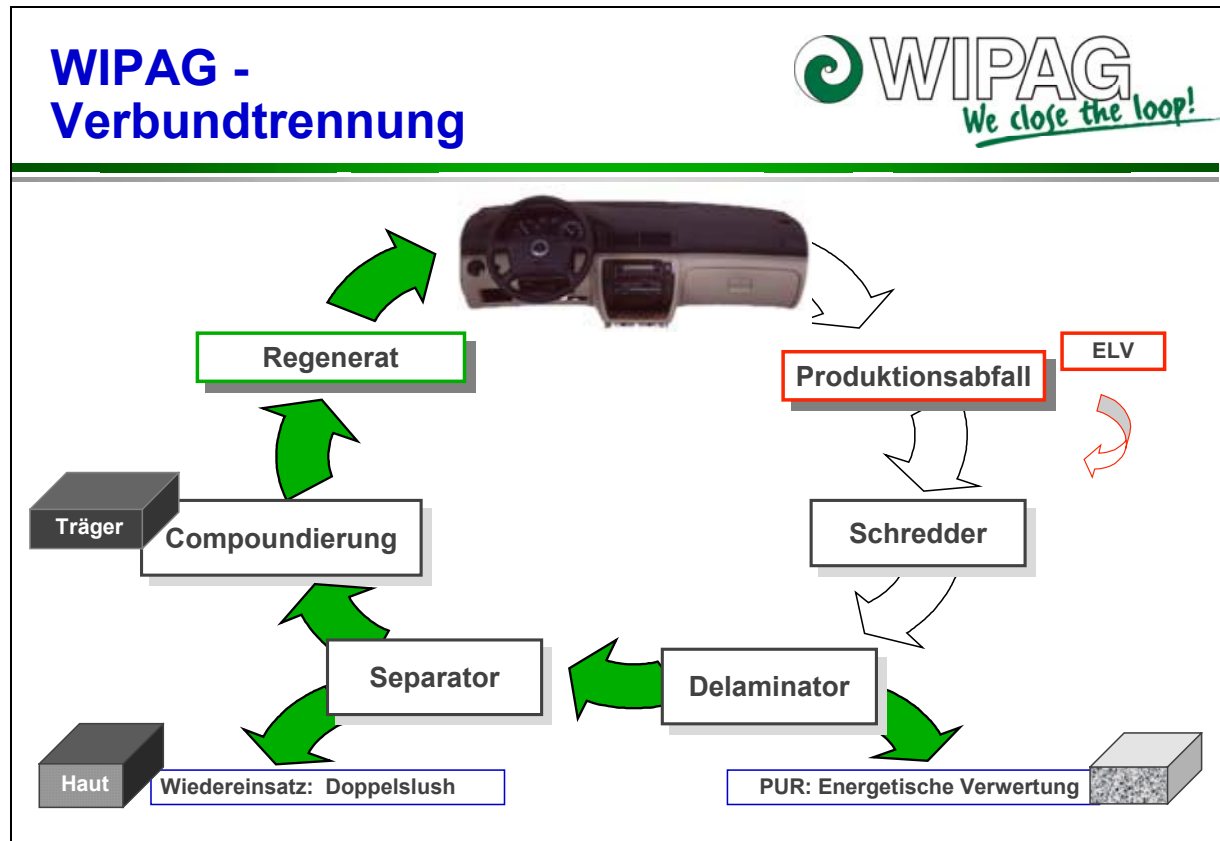
## Recyclinggerechte Verbundkonstruktionen



### Checkliste

- Thermoplasteinsatz bei Haut und Träger
- verträgliche Thermoplaste beim Träger
- Zersetzung von POM und PVC beachten
- wenn möglich, einheitliches Material bei der Haut





- ## Recyclierbare Konstruktionen und Verbunde
- 
- Stanzabfälle/Ausschußteile**
- Innenraum**
- mehrschichtige Instrumententafeln
  - Türverkleidungen
  - Säulenverkleidungen
  - Mittelkonsolen
- Außenanwendungen**
- Stoßfänger
  - Aussenhaut
- Motorraumanwendungen**
- Metallklipse
  - Metallinserts
  - Kunststoff-Metall-Hybridkonstruktionen

## Rezyklateinsatz (2)



### Kunststoffe aus dem Fahrzeuginnenraum

#### Schalttafel:

- Trägerwerkstoff (SMA, PC/ABS GF, PP GF...)
- Schalttafel-Haut (Slushhaut PVC)

### Einsatz im Automobil

- ⇒ Schalttafelträger, Warmluftkanal
- ⇒ Schalttafel-Haut (Doppelslush)

#### Türverkleidung, Armlehnen:

- Trägerwerkstoff (PC/ABS, PP, ABS)

⇒ Türverkleidung

- Bodenmatten

⇒ Schwerschicht

## Rezyklateinsatz (3)



### Kunststoffe aus „externen“ Anwendungen

#### Einsatz im Automobil bedingt möglich:

#### Probleme:

- Sicherstellung des Materialstromes
- Gefahr von Eintragung von Fremdstoffen groß
- Qualitätsgesicherte Sammlung und Aufbereitung
- Wenig Kunststoffe am Markt, die den Anforderungen genügen
- starke Preisschwankungen möglich
- meist kann nur Sortenreinheit garantiert werden, nicht Typenreinheit
- meist Compoundierung notwendig
  
- Nicht gestützt von der EU-Altautorichtlinie

## Rezyklateinsatz Zusammenfassung



(1) Lackierte Außenteile aus Produktionsabfällen und aus ELV:



(2) Trägerwerkstoffe der Verbunde aus dem Fahrzeuginnenraum



(3) Kunststoffe aus externen Anwendungen:



### Einsatz im Automobil

- Freigabe im Pflichtenheft
- Spezifikationen müssen erfüllt werden
- Qualitätsgesicherte Sammlung und Aufbereitung
- typenreines (!) oder sortenreines Rezyklat
- immer nur zusätzlich+alternativ zu Neuware

## Fazit



### Maßnahmen zur Verwertung der Altkunststoffe aus Altautos:

- Design for Recycling
- Aufbau von Kreisläufen bereits bei Produktionsabfällen
- Entwicklung entspr. Aufbereitungstechnologien

### Einsatzgebiete für Altkunststoffe:

- das stoffliche Recycling wird sich auf wenige große und leicht gewinnbare Teile beschränken:
- Hochwertige Anwendungen mit Neuwarecharakter:
  - Ersatzteildienst Stoßfänger
  - Nichtsichtteile im Innenraum
  - .....

## Verwertung von Altfahrzeugen und deren Materialien

Dipl.-Ing. Klemens Graser, Dipl.-Ing. Reinhard Hoock, BMW Group

BMW Group

### Vortragsinhalte

- **EU Altfahrzeug-Richtlinie**
- **BMW Recycling – Aufgaben und Struktur**
- **Aufbau von Materialkreisläufen und Rezyklateinsatz**
- **Integration der Recyclinganforderungen in den Produkt-Entwicklungs-Prozess (PEP)**
- **Recyclingoptimierte Produktgestaltung - Beispiele**
- **Zusammenfassung / Resumée**

Altfahrzeugverwertung    Forschung & Entwicklung    Produktion    Fahrzeugnutzung

BMW Group

### EU- Altfahrzeugrichtlinie - Kernelemente Recycling

- ⇒ **Kostenlose Rücknahme von Fahrzeugen:**
  - **ab 1.7.2002: kostenlose Rücknahme der Neufahrzeuge**
  - **ab 1.1.2007: kostenlose Rücknahme für den Bestand an Altfahrzeugen**
- ⇒ **Problemstoffdemontage, Stoffverbote**
- ⇒ **Recyclinggerechte Produktgestaltung**
- ⇒ **Erreichen der Verwertungsquoten für 2015 als Kriterium der Typgenehmigung ab 2005**

Quelle : Official Journal vom 21.Oktober 2000;

Altfahrzeugverwertung    Forschung & Entwicklung    Produktion    Fahrzeugnutzung

BMW Group

## EU Altautorichtlinie – Verwertungsquoten für Altfahrzeuge

Quote im Jahr für	2006	2015
Deponie	$\leq 15\%$	$\leq 5\%$
Verwertung	$\geq 85\%$	$\geq 95\%$
Wiederverwendung + Materialrecycling	$\geq 80\%$	$\geq 85\%$
Thermische Nutzung	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$

Altfahrzeugverwertung
Forschung & Entwicklung
Produktion
Fahrzeugnutzung

- BMW Group
- ## Vortragshalte
- EU Altfahrzeug-Richtlinie
  - **BMW Recycling – Aufgaben und Struktur**
  - Aufbau von Materialkreisläufen und Rezyklateinsatz
  - Integration der Recyclinganforderungen in den Produkt-Entwicklungs-Prozess (PEP)
  - Recyclingoptimierte Produktgestaltung - Beispiele
  - Zusammenfassung / Resumée
- Altfahrzeugverwertung
Forschung & Entwicklung
Produktion
Fahrzeugnutzung

BMW Group

## BMW Recycling Aufgabengebiete



**Design for Recycling**



**Politischer Rahmen/  
Gesetzgebung**



**Stoffstrom-  
Management**



**Verwertungsstrukturen**



**Recycling- und  
Demontage-Zentrum**

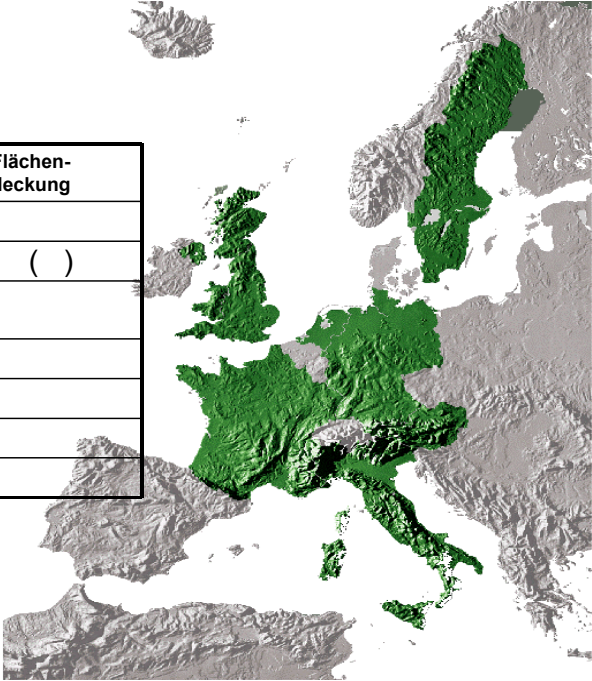
ELV-Recycling
Research & Development
Production
Use & Service

Recycling - es - 120301 - 014

BMW Group

## Aufbau von Verwertungsstrukturen

Land	Verwerter	Annahme- stellen	Flächen- deckung
Deutschland	93	146	
GB	30	---	( )
Österreich	2	HO der BMW Group	
Niederlande	2	112	
Schweden	4	55	
Italien	312	---	
Frankreich	255	---	



BMW Group

## Recycling- und Demontage-Zentrum (RDZ)

### Umweltgerechte Verwertung



### Erprobung von Geräten



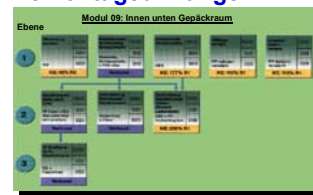
### Schulung von Verwertungspartnern



### Demontage von Ersatzteilen und Materialien



### Bestimmung von Demontageumfängen



BMW Group

## Recyclingkonzepte - Kunststoff Vortragsinhalte

- EU Altauto-Richtlinie
- BMW Recycling – Aufgaben und Struktur
- **Aufbau von Materialkreisläufen und Rezyklateinsatz**
- Integration der Recyclinganforderungen in den Produkt-Entwicklungs-Prozess (PEP)
- Recyclingoptimierte Produktgestaltung - Beispiele
- Zusammenfassung / Resumée

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Demontage von Scheiben und von Katalysatoren



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Demontierte Materialien (Beispiele)



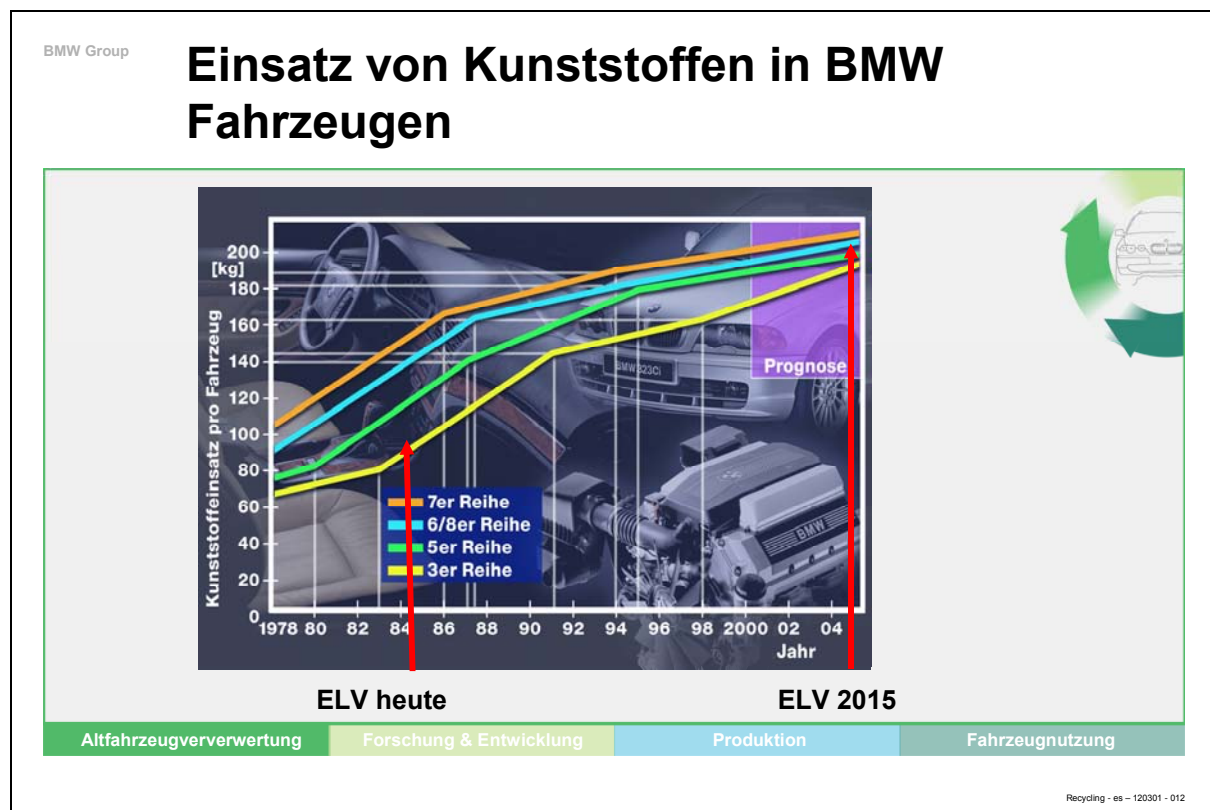
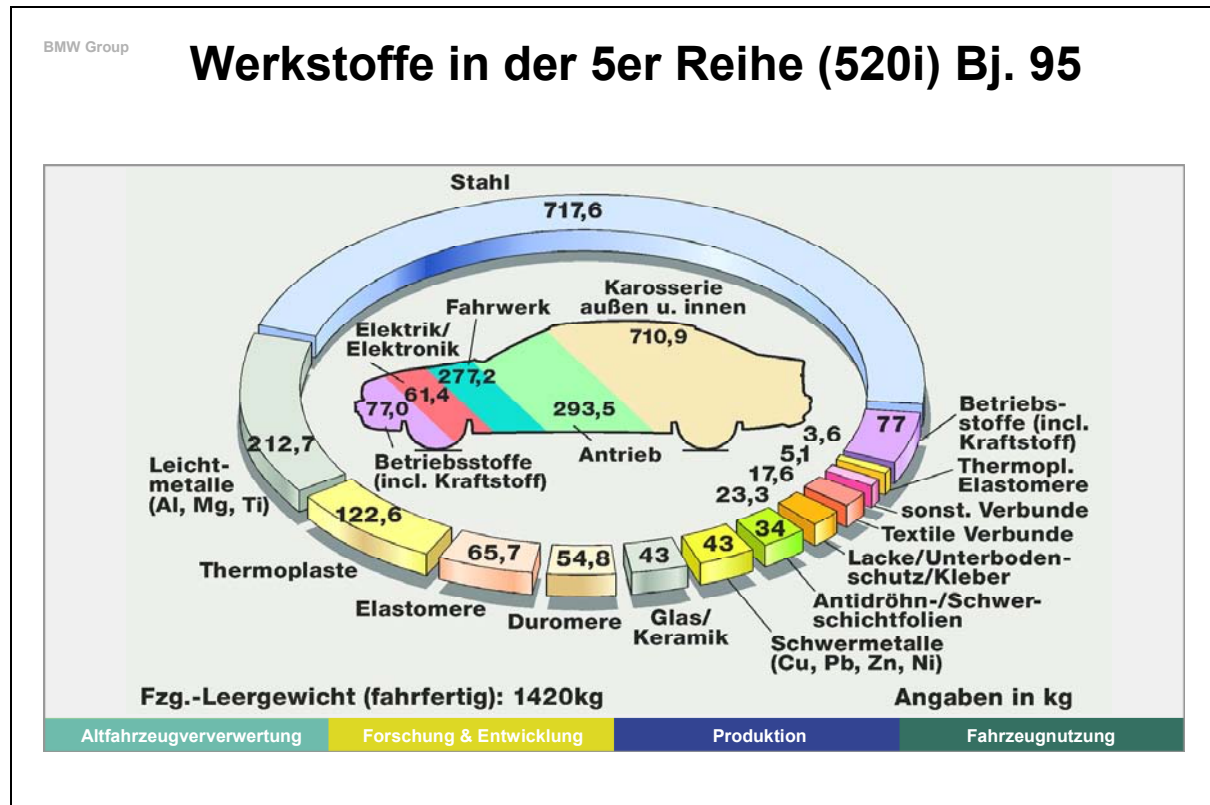
Altfahrzeugverwertung

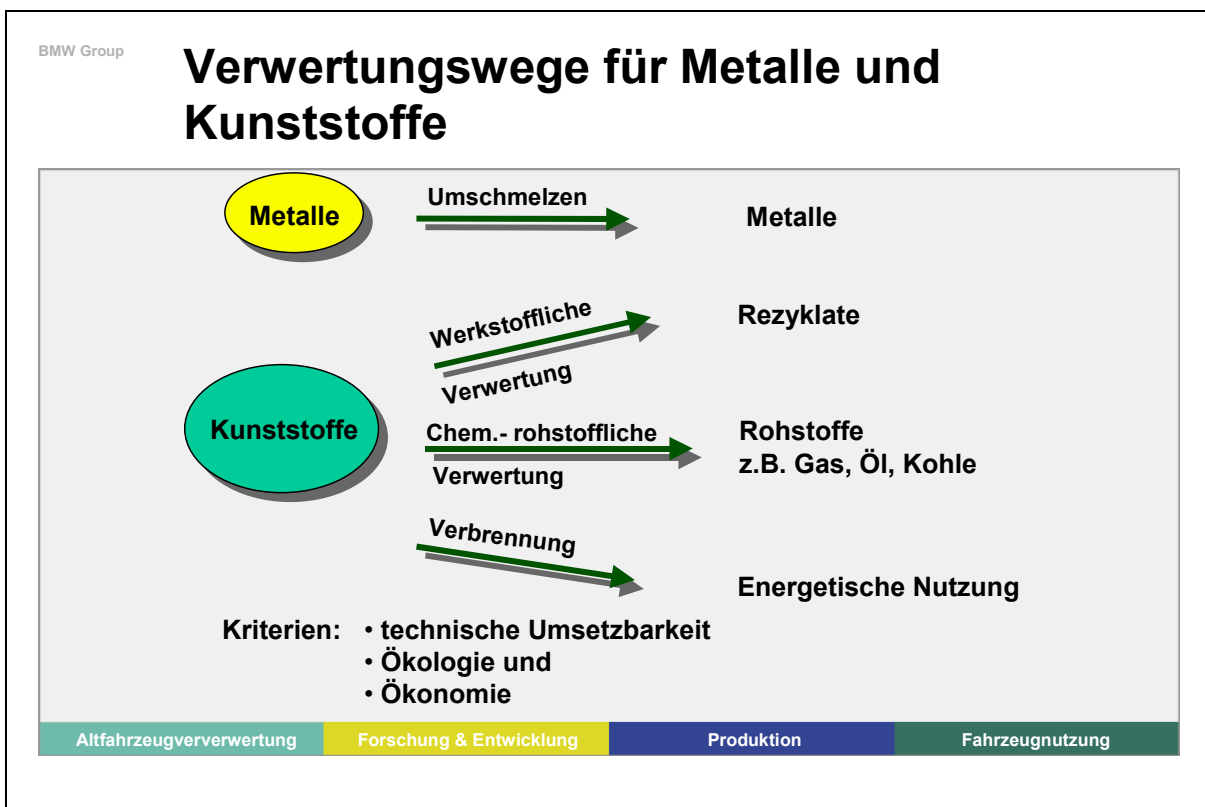
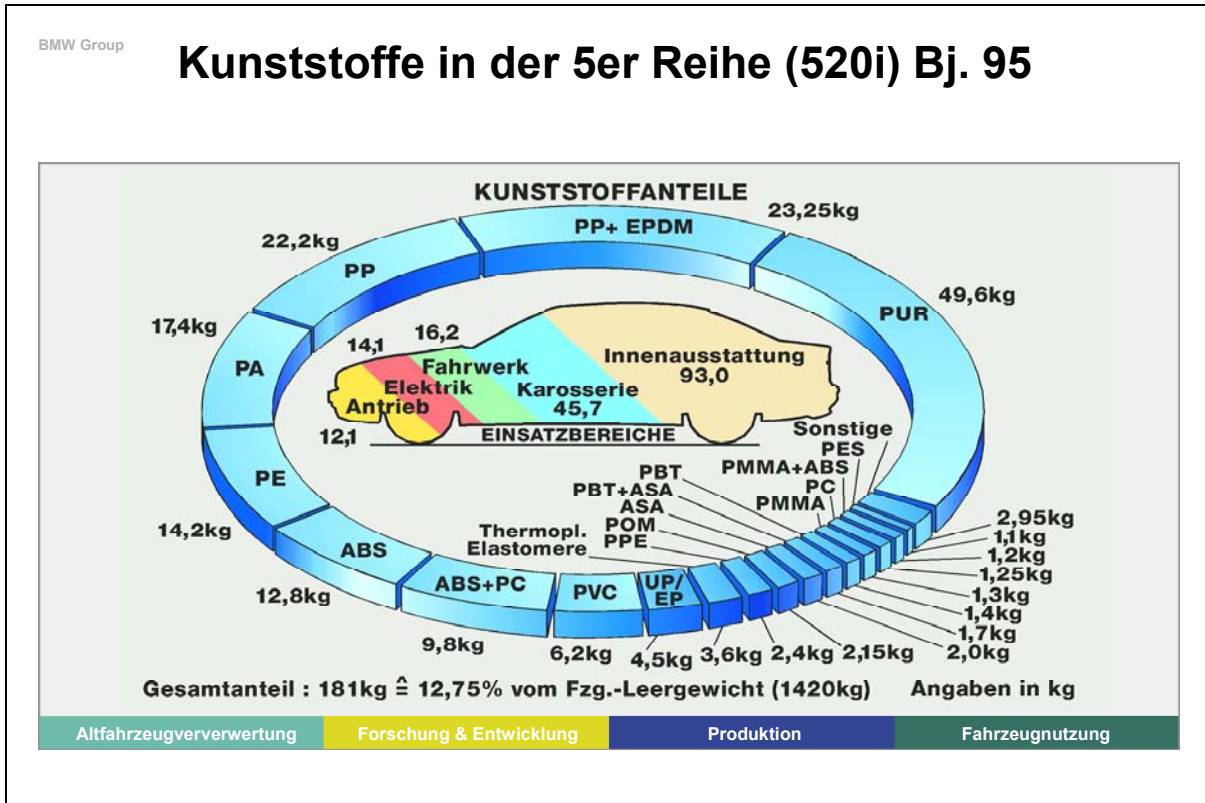
Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung







BMW Group

## Recyclingverfahren für Kunststoffe

- ⇒ **Werkstoffliche Verfahren**
- ⇒ Chemisch-rohstoffliche Verfahren
- ⇒ Energetische Nutzung

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Quellen für Kunststoff-Rezyklate

Produktionsreste



Altfahrzeugverwertung

Werkstättenentsorgung



Forschung & Entwicklung

Altautoverwertung



Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Produktionsrecycling

### BMW Werk in Landshut

Einsatz aufbereiteter Rezyklate: ca.160 t/a

- ⇒ PBT + PC 40 t/a
- ⇒ ABS + PC 30 t/a
- ⇒ PP-Copo + 40% Talkum 90 t/a

Weiterhin: Einsatz von Mahlgütern in  
Direktverarbeitung (z.B. PA-GF: 30 t/a)

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Produktionsrecycling

Beispiel: Recycling von PA66-GF35



Ausschußteile  
Sauganlagenproduktion

Neue Nockenwellen-  
abdeckungen  
(100% Rezyklatanteil)



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung


Produktion

Fahrzeugnutzung


BMW Group

## Produktionsrecycling

### Mittelkonsole BMW 5-er Reihe, Einleger aus ABS+PC



- Material: ABS + PC
- Rezyklat-Anteil: 100% Mahlgut oder 20% entlacktes Rezyklat
- Menge: ca. 200 t/a (Mahlgut)




Altfahrzeugverwertung
Forschung & Entwicklung
Produktion
Fahrzeugnutzung

BMW Group


## Recycling von lackierten Bauteilen

### Entlackung nach Prozess Fa. Wipag

Stoßfänger aus Alt- und Unfallfahrzeugen

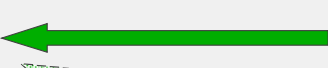


Stoßfänger



Produktionsabfall

Regranulierung

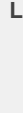


Vorbehandlung

Delaminator


Separator

Lackpartikel

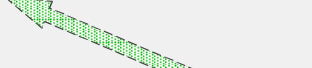


opto-elektronische Inspektion

Schneidmühle



optional



Altfahrzeugverwertung
Forschung & Entwicklung
Produktion
Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Produktionsrecycling

### Verwertung lackierter Stoßfänger aus PBT+PC



Entlackung von lackierten Stoßfängern zum Einsatz in den seitlichen Einlegern der BMW 7-er Reihe

- Material: PBT + PC
- Rezyklat-Anteil: 100% entlacktes Rezyklat
- Menge: 40 t/a



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

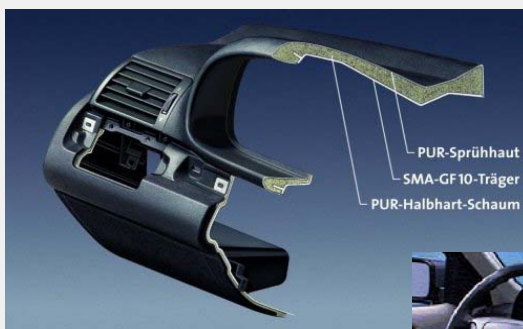
Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Werkstoffaufbau

### Cockpit der BMW 3er Reihe



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

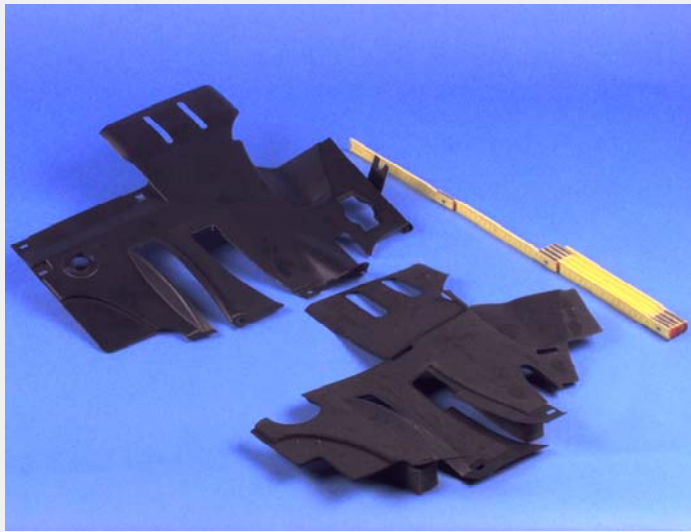


BMW Group

## Recycling von Werkstättenteilen: Verwertung von Stoßfängern aus PBT+PC

**Wiedereinsatz:**  
Verkleidung  
Fußhebelwerk

**Regenerat,**  
schmelzefiltriert



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Recycling von Altautoteilen: Verwertung von Sitzkissen aus PUR-Weichschaum

**Alte Sitzkissen**



**Neue Schallisolierungen**  
(90% Rezyklatanteil)

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung



BMW Group

## Recyclingverfahren

- ⇒ **Werkstoffliches Verfahren**
- ⇒ **Chemisch-rohstoffliche Verfahren**
- ⇒ **Energetische Nutzung**

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Solvolyse von PUR-Weichschaum

### Neue Schallisierungen der BMW 5er Reihe



Solvolyseanlage

Foto: Fa. Regra



Neue Schallisierungen mit 10-15% Recyclingpolyolanteil

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Recyclingverfahren

⇒ **Werkstoffliches Verfahren**

⇒ **Chemisch-rohstoffliche Verfahren**

⇒ **Energetische Nutzung**

⇒ **Schwermetalle, Halogene**

Altfahrzeugverwertung
Forschung & Entwicklung
Produktion
Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Rezyklatfreigaben in den BMW Modellreihen

Modell	Kunststoff-einsatz [kg]	Rezyklat-freigabe [%]
7er Reihe	~185	13,5%
5er Reihe	~175	14,9%
3er Reihe	~165	12,9%

**Für folgende Teileumfänge:**  
 • Spritzteile  
 • Pressteile  
 • geschäumte PUR-Teile  
 • Schallisolierungen

Status 07/2001

Altfahrzeugverwertung
Forschung & Entwicklung
Produktion
Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Recyclingkonzepte - Kunststoff Vortragsinhalte

- EU Altauto-Richtlinie
- BMW Recycling – Aufgaben und Struktur
- Aufbau von Materialkreisläufen und Rezyklateinsatz
- **Integration der Recyclinganforderungen in den Produkt-Entwicklungs-Prozess (PEP)**
- Recyclingoptimierte Produktgestaltung - Beispiele
- Zusammenfassung / Resumée

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Recyclingoptimierte Produktgestaltung bei BMW

### Ziele:

- ⇒ **Umsetzen der BMW Umweltleitlinien**
- ⇒ **Erfüllung aller heutigen und zukünftigen Gesetze im Bereich Fahrzeugrecycling**
- ⇒ **Optimale Verwertbarkeit von Fahrzeugen**
- ⇒ **Integration der Recyclinganforderungen in den Produkt-Entwicklungs-Prozess (PEP)**

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Design for Recycling

### Recyclinganforderungen im PEP

### Anforderungen und Tools

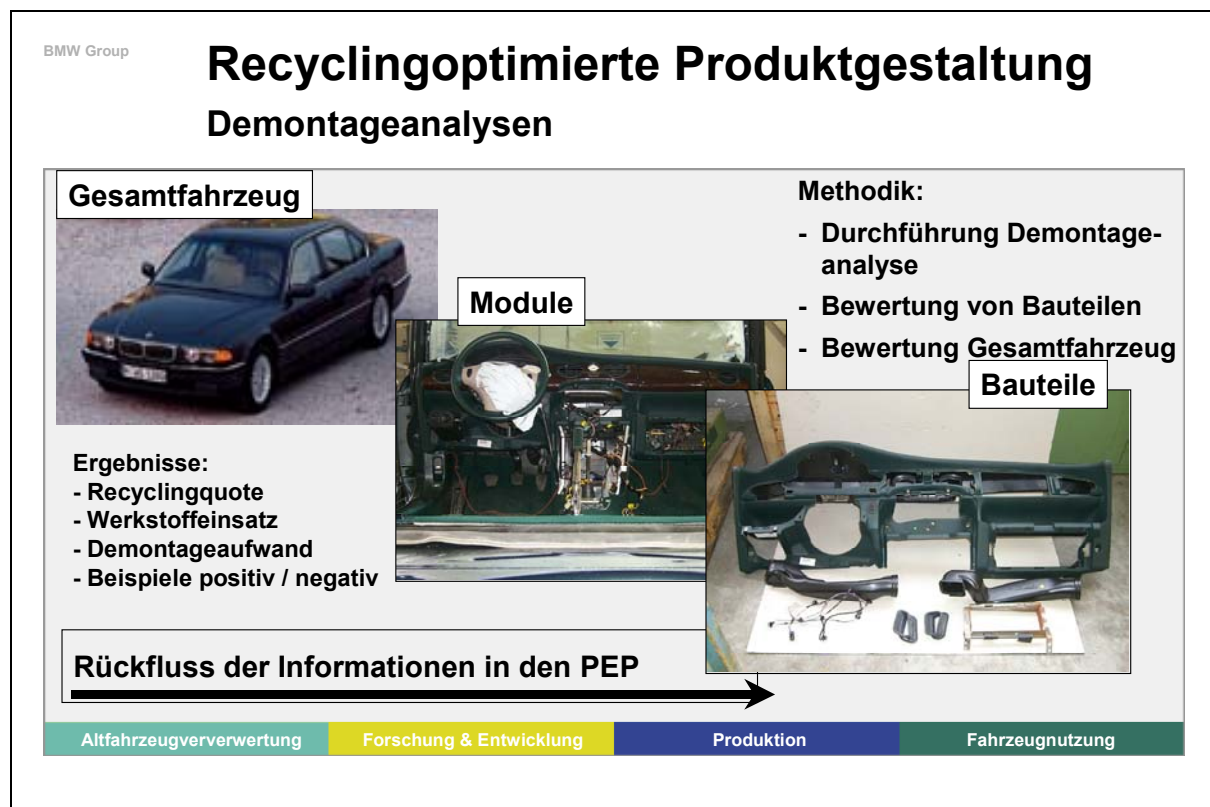
### IDIS

### Demontageanalysen

BMW Group

## Produkt-Entwicklungs-Prozeß (PEP)

	Vorbereitungsphase	Abstimmungsphase	Bestätigungsphase	Reifephase	S e r i e
	Planungsstart	Projektstart			
Entwicklungsphasen:					
Entscheidungsphasen:	Definition des Fahrzeugs nach Kundennutzen	Konzeptentwicklung Festlegung Fahrzeugkonzept und -design	Entwicklung erster Erprobungsfahrzeuge  Entwicklung von Prototypen	Serienentwicklung Vorserienfertigung und Erprobung	
	Altfahrzeugverwertung	Forschung & Entwicklung	Produktion	Fahrzeugnutzung	



BMW Group

## Wirtschaftliche Recyclingfähigkeit von Bauteilen (nach BMW Norm 113 99.0)

Klassifizierung:

Recycling-Klassen	Kriterien	
	1. Kreislaufeignung KE	2. Unerwünschte Stoffe
R 1	> 100 %	nicht vorhanden
R 2	80 bis 100 %	nicht vorhanden
R 3	< 80 %	vorhanden

$$KE [\%] = \frac{\text{Kosten (äquivalentes Neumaterial + Entsorgung)}}{\text{Kosten (Demontage + Aufbereitung + Logistik)}} \times 100$$

Altfahrzeugverwertung

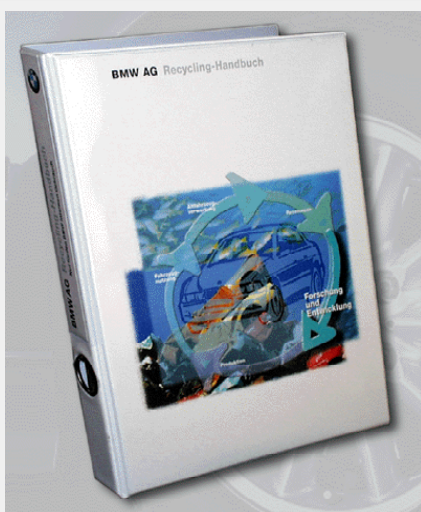
Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Recyclingoptimierte Produktgestaltung BMW Recycling-Handbuch



Materialauswahl



Bauteilgestaltung



Verbindungstechnik



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

# Werkzeuge

## IDIS – Internationales Demontage Informations System



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

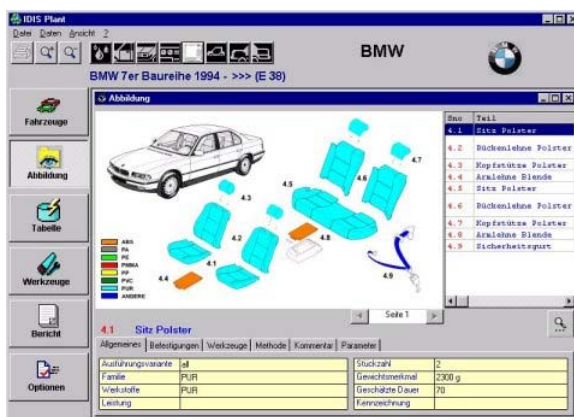
Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

# Werkzeuge

## IDIS – Internationales Demontage Informations System



### Inhalte

- Identifikation von Kunststoffen
- 20.000 Bauteilinformationen
- Demontagetechniken und Werkzeuge
- Behandlung von pyrotechnischen Komponenten
- Entnahme von Betriebsflüssigkeiten

### Status Quo

- 21 Automobilhersteller
- Verfügbar in 8 Sprachen
- Verteilung an 2500 Verwerter

BMW Group

## Recyclingkonzepte - Kunststoff Vortragsinhalte

- EU Altkar-Richtlinie
- BMW Recycling – Aufgaben und Struktur
- Aufbau von Materialkreisläufen und Rezyklateinsatz
- Integration der Recyclinganforderungen in den Produkt-Entwicklungs-Prozess (PEP)
- **Recyclingoptimierte Produktgestaltung - Beispiele**
- Zusammenfassung / Resumée

Altfahrzeugverwertung

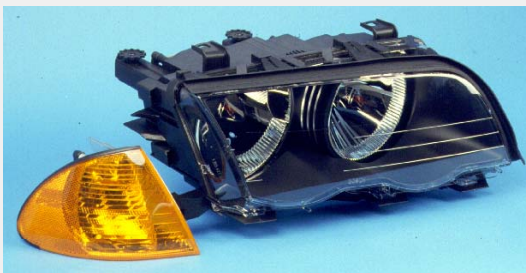
Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Recyclingoptimierte Produktgestaltung Frontscheinwerfer 3er Reihe



Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung



BMW Group

## Recyclingoptimierte Produktgestaltung Abdeckhaube 8-Zylinder Dieselmotor



BMW Group

## Recyclingoptimierte Produktgestaltung Luftfilterkasten Z 3 (4-Zyl. Motor)



BMW Group

## Recyclingoptimierte Produktgestaltung Sitzkissen 3er Reihe



**Konstruktives Highlight: Dünne Garnierdrähte, ausschließlich im Außenbereich des Polsters eingeschäumt**

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

BMW Group

## Chancen und Risiken des werkstofflichen Recyclings

### Chancen:

- ⇒ Vereinfachungen/Verbesserungen durch recyclingoptimierte Bauteilgestaltung
- ⇒ Synergien bei Logistik und Aufbereitung
- ⇒ Verfeinerte Methoden zur Gewinnung und Sortierung von Kunststoffen

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

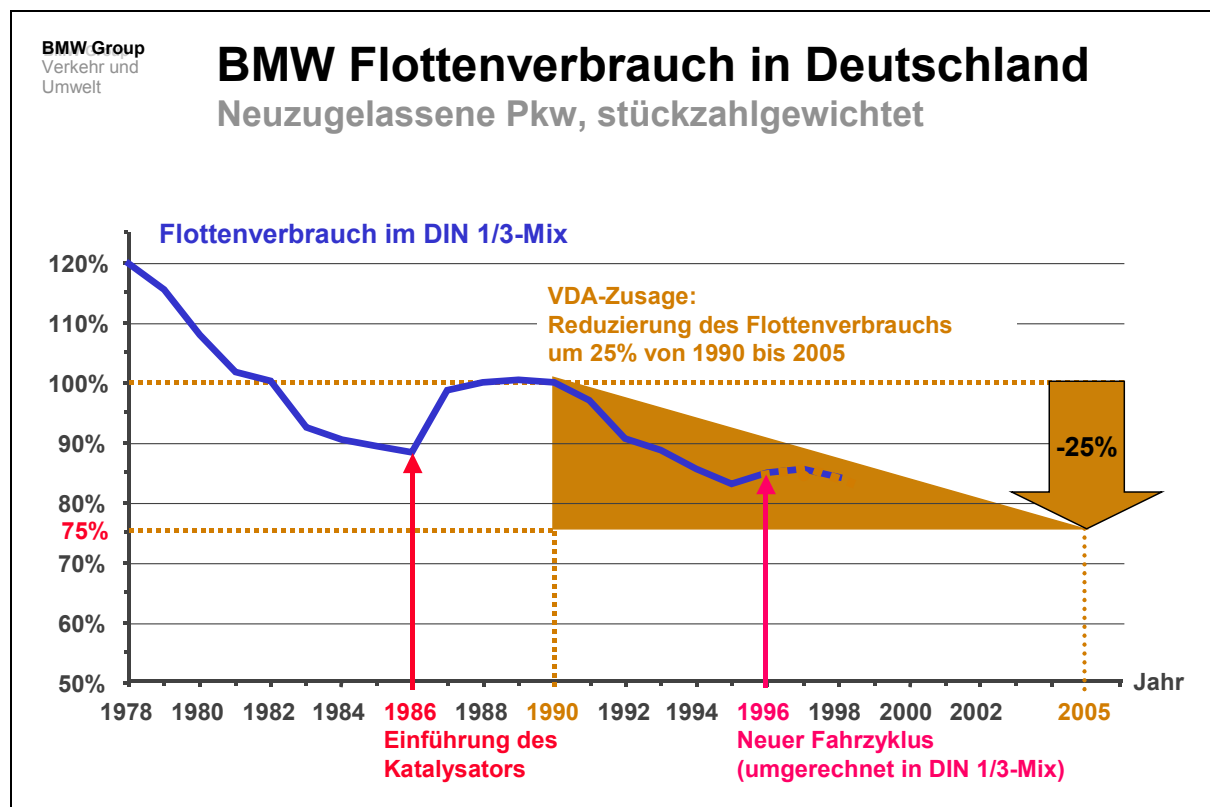
Fahrzeugnutzung

BMW Group

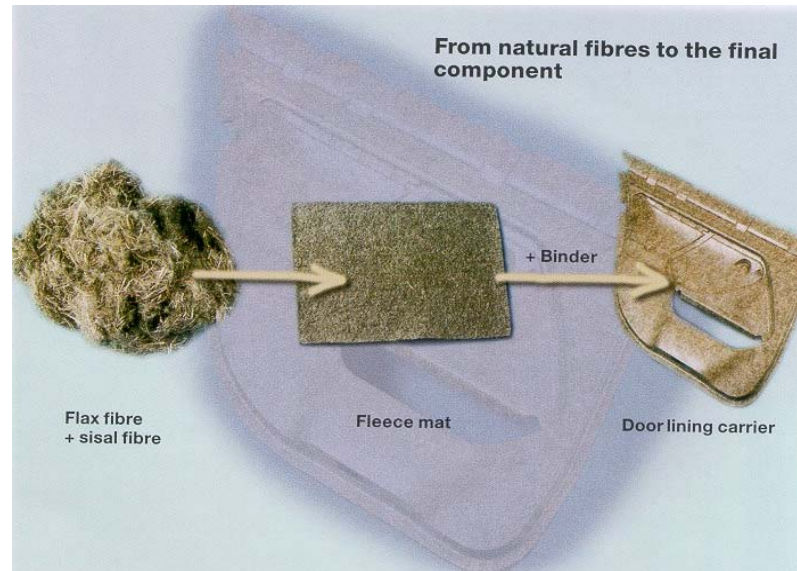
## Chancen und Risiken des werkstofflichen Recyclings

**Risiken:**

- ⇒ **Gewichtsreduktion zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen (z.B. durch Einsatz von High Tech Verbunden)**
- ⇒ Technologische Fortschritte bei neuen Werkstoffen und Verfahren (Senkung Zykluszeiten, Ausschussquoten)

## Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen Türverkleidung



## Chancen und Risiken des Recyclings

### Risiken:

- ⇒ Gewichtsreduktion zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen (z.B. durch Einsatz von High Tech Verbunden)
- ⇒ **Technologische Fortschritte bei neuen Werkstoffen und Verfahren (Senkung Zykluszeiten, Ausschussquoten)**

BMW Group

## Zusammenfassung / Resümee

- ⇒ **Die Politik erweist sich immer mehr als “Mitkonstrukteur” am Fahrzeug, auch durch Material- und Recyclingvorgaben**
- ⇒ **Die politisch vorgegebenen Recyclingquoten müssen zunächst erfüllt werden**
- ⇒ **Für die Verwertung von Kunststoffen steht rein technisch bereits eine Vielzahl von Recyclingverfahren zur Verfügung**
- ⇒ **Das Ziel bei Rezyklaten ist der Wiedereinsatz auf ihrem ursprünglichen Eigenschaftsniveau. Das maximiert ihren Wert**
- ⇒ **Durch innovative Demontage- und Recycling-Prozesse muß die Wertschöpfung weiter erhöht werden**
- ⇒ **Die recyclingoptimierte Bauteilgestaltung hat bei BMW deshalb weiterhin hohe Priorität**

Altfahrzeugverwertung

Forschung & Entwicklung

Produktion

Fahrzeugnutzung

## Referenten

Bayer. Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Kerstin Bayer

Tel.: (0821) 90 71 – 53 66  
Fax: (0821) 90 71 – 55 53  
[kerstin.bayer@lfu.bayern.de](mailto:kerstin.bayer@lfu.bayern.de)

A.R.T. GmbH  
Am Moselkai 1  
54293 Trier

Thomas Schwarz

Tel.: (0651) 9 68 10 – 0  
Fax: (0651) 9 68 10 - 90  
[A.R.T.GmbH@t-online.de](mailto:A.R.T.GmbH@t-online.de)

Deutsche Gesellschaft für Kunststoff-  
Recycling mbH (DKR)  
Frankfurter Straße 720 – 726  
51145 Köln

Jörg-Olaf Jansen

Tel.: (02203) 93 17 – 724  
Fax: (02203) 93 17 – 774  
[jansen\\_dkr@t-online.de](mailto:jansen_dkr@t-online.de)

Technische Universität Berlin  
Institut für Technischen Umweltschutz  
Stlraße des 17. Juni 135  
10623 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Günter Fleischer

Tel.: (030) 3 14 – 2 43 40  
Fax: (030) 3 14 – 2 17 20  
[sutlehre@itu301.ut.tu-berlin.de](mailto:sutlehre@itu301.ut.tu-berlin.de)

Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.  
Am Hofgarten 1-2  
53113 Bonn

Dipl.Ing.- Michael Vetter

Tel.: (0228) 9 17 83 – 16  
Fax: (0228) 5 38 95 94  
[vetter@agpu.com](mailto:vetter@agpu.com)

Wipag Polymertechnik  
Nördliche Grünauer Straße 21  
86633 Neuburg/Donau

Dipl.-Ing. (FH) Peter Wiedemann

Tel.: (08431) 43 60  
Fax: (08431) 43 22  
[wipag@t-online.de](mailto:wipag@t-online.de)

BMW AG  
Abt. VS-6  
80788 München

Dipl.-Ing. Klemens Graser

Tel.: (089) 3 82 – 1 22 70  
Fax: (089) 3 82 – 1 22 55  
[klemens.graser@bmw.de](mailto:klemens.graser@bmw.de)