

Der Weg zum schlanken "Öko"-Produkt

Umweltschutz muß nicht teuer sein, ganz im Gegenteil: Geht man systematisch an die Produktgestaltung heran, profitiert davon nicht nur die Umwelt, sondern es kann sich auch positiv auf die Finanzlage niederschlagen.

ms.*/cd. Die Gestaltung umweltverträglicher Produkte muß nicht zwangsläufig die Entwicklungs- und Herstellkosten erhöhen. Die scheinbar sich widersprechenden Zielsetzungen der Fertigungs- und Montagegerechtigkeit auf der einen und die Ziele des Recyclings auf der anderen Seite können durchaus in Einklang gebracht werden.

Aufgrund der um Umweltziele erweiterten Marktstrategien vieler Unternehmen ist in Neukonzepten die Beachtung der Vorgaben nach Demontageeignung gar zu belegen. Die Einbindung dieser Herausforderung des recyclinggerechten Konstruierens in den Entwicklungsprozeß bedarf der simulta-

nen Unterstützung der Entwickler durch Gestaltungsrichtlinien und Bewertungsmethoden.

Inhalte von Gestaltungsrichtlinien

Entwickler werden durch firmeninterne Normen, die über die in der VDI-Richtlinie 2243 dargestellten Ansätze hinausgehen, bereits zur recyclinggerechten Konstruktion angehalten (z.B. bei Siemens). Oftmals basieren diese Regeln jedoch auf Produkten der Vergangenheit und finden Anwendung für Produkte, die erst in einigen Jahren zur Entsorgung anstehen. Aus diesem zeitlichen Verzug ergeben sich Unsicherheiten seitens des Stands der Technik der Recyclingtechnologie, der Werkstofftechnik und auch der Gesetzgebung. Trotzdem ist es hinsichtlich einer Bewußtseinsbildung der Konstrukteure

sinnvoll, auf Erkenntnissen, die heute bereits umweltschonend wirken, solche Richtlinien zur recyclinggerechten Produktgestaltung zu entwickeln. Diese gestalterischen Anleitungen beziehen sich meist auf

- den recyclinggerechten Produktaufbau,

- die schadstofffreie und stofflich verwertbare Materialwahl und
- die Wahl einer demontagefreundlichen Verbindungstechnik.

Recyclinggerechte Produktstrukturierung

Die Einbeziehung der Produktlebensphase Entsorgung in die Gestaltungsaktivitäten erfordert eine Produktstrukturierung nach Recyclingbaugruppen. Diese sind dadurch gekennzeichnet, daß sie nach dem heutigen Stand der Technik auf einem gängigen Recyclingweg verwendet bzw. verwertet werden können. Aus zahlreichen Demontageversuchen an Produkten der "weißen" Ware läßt sich folgende zentrale Regel formulieren:

Es sollte ein horizontaler Aufbau der Produktstruktur in möglichst wenige Demontageebenen angestrebt werden, um abhängig von der gewählten Recyclingstrategie Schadstoffe und/oder Wertstoffe frühzeitig entnehmen zu können.

So sollte beispielsweise in einer Waschmaschine das Ausgleichsgewicht aus Beton, welches den technologischen Zerkleinerungsprozeß negativ beeinflussen würde, vorab durch eine einfache Demontage separiert werden.

Recyclinggerechte Verbindungstechnik

Da die Demontage den ersten Schritt auf dem Weg der Entsorgung eines Produktes darstellt, kommt der Auswahl der Verbindungstechnik eine entscheidende Bedeutung bei der Reduzierung des Demontageaufwandes und damit der Entsorgungskosten zu. Analysen gängiger Verbindungstechniken zeigten, daß demontagefreundliche Verbindungen auch im Hinblick auf die Montageeignung kostenminimal sind.

Daneben muß im Hinblick auf eine Erhöhung der Demontagefreundlichkeit neben der Zugänglichkeit die Erkennbarkeit der Verbindungsstelle verbessert sowie die Verbindungselementanzahl pro Bauteil verringert werden.

Recyclinggerechte Materialwahl

Die Materialwahl als dritte recyclingrelevante Entscheidung des Konstrukteurs stellt mit das wichtigste Kriterium

*) Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Dipl.-Ing. Marko Hartel, Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Karlsruhe.

für die Recyclingfähigkeit eines Produktes dar. Insbesondere die Verwertung der

und Füllstoffen ermöglicht. Und die exakte Zusammensetzung der Kunststoffe unter-

fen reduzieren sowie die Materialverträglichkeit der Komponenten beachten.

Systeme zur Beurteilung des Entwurfs

Durch Berücksichtigung der Regeln und einer produktspezifischen Detaillierung entsteht ein Produktentwurf, der anschließend nach der Recyclinggerechtigkeit bewertet werden muß. Erste Ansätze eines Bewertungssystems wurden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (WBK) entwickelt. Sie bewerten mittels eines Checklistsensystems die Materialwahl innerhalb einer Recyclingbaugruppe und schätzen auf Basis einer Demontagesimulation die Verbindungstechnik auf ihre Recyclingeignung ab.

Bei der Bewertung der vom Konstrukteur ausgewählten Materialien steht das stoffliche Recycling im Vordergrund. Vorrangig ist das Up-Cycling, d.h. der erneute Einsatz des Stoffes auf dem gleichen oder gar höheren Wertniveau. Der Grundgedanke der Systematik zur Materialbewertung basiert

Abb. 1:
Mit der Materialkennzahl kann ermittelt werden, ob die eingesetzten Materialien den Ansprüchen an ein Recycling genügen.

Checklisten / Kunststoff	1 Aufbereitung/Entsorgung		Bewertung
	materiell		10
	chemisch		...
	thermisch		...
	Deponierung		1
	2 Füll- u. Verstärkungsstoffe		Bewertung
	ohne		10
	plättchenförmig		...
	kugelförmig		...
	faserartig		...
mattenartig		1	
⋮	⋮	⋮	
n Altstoffgruppenzuordnung		Bewertung	
möglich		10	
mittels Materialzumischung		...	
nicht möglich		1	

Materialkennzahl MKZ

$$MKZ_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_j \beta_j P_{ij}$$

m Baugruppe aus m Materialien
 n Anzahl der Checklisten
 α Gewichtungsfaktor
 β Massenfaktor
 P Bewertung

Kunststoffe steckt wegen deren Vielfalt noch in den technologischen Anfängen. Die nahezu universelle Anwendbarkeit wird durch verschiedenartigste Zusätze, angefangen bei Flammschutzmitteln, Verträglichkeitsverbesserern

liegt oft der Geheimhaltung des Herstellers.

Der Konstrukteur muß deshalb die Materialwahl an den heutigen Recyclingverfahren orientieren und die Werkstoffvielfalt, den Einsatz von Recyclaten bzw. Sekundärrohstoffen

Als konstruktionsbegleitende Hilfsmittel lassen sich sog. Verträglichkeitsmatrizen nur bedingt einsetzen, da sie gerade bei Kunststoffen die Auswirkungen von Zusätzen auf die Verträglichkeit nicht berücksichtigen.

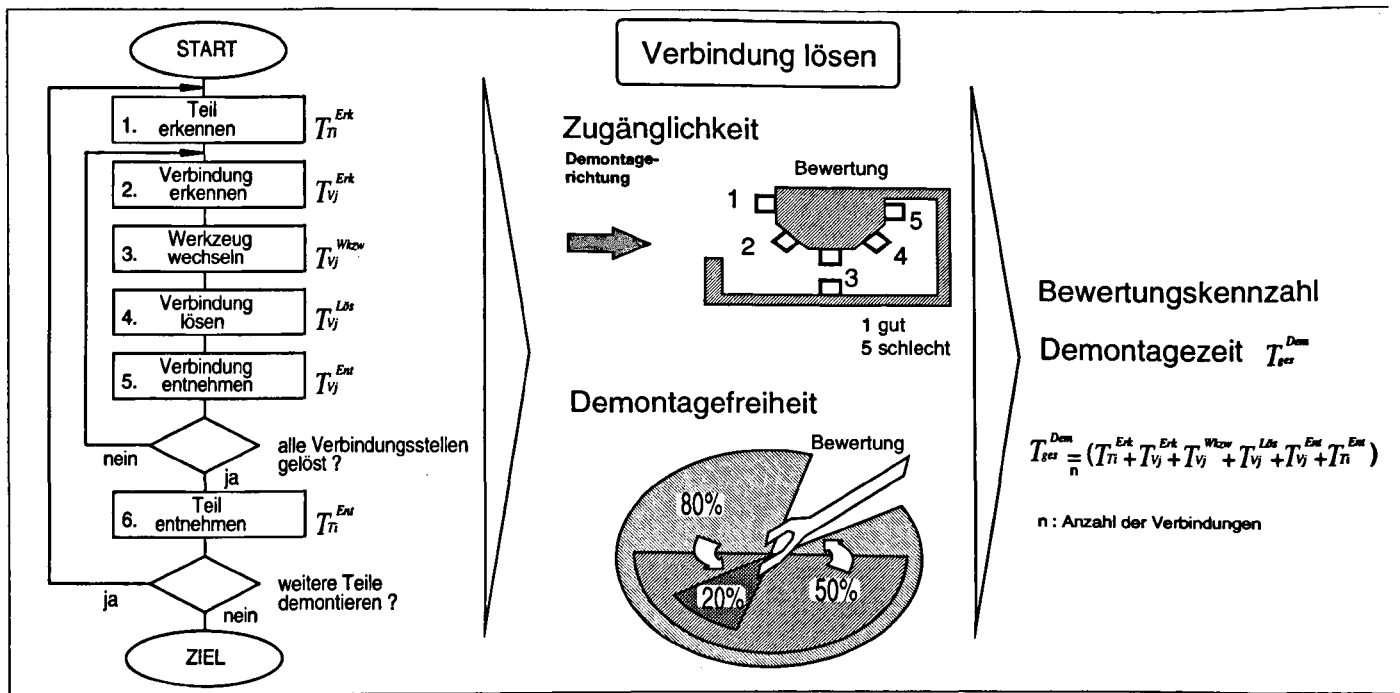


Abb. 2: Die Bewertungskennzahl soll die Verbindungstechnik hinsichtlich ihrer Recyclingfähigkeit abklopfen.

Quelle: Autor

auf erweiterbaren Checklisten. Die einzelnen Checklisten bewerten die eingesetzten Werkstoffe eines Produktes oder einer Baugruppe nach

- der Materialvielfalt,
- der Zuordbarkeit des Stoffes zu einer Altstoffgruppe und damit dessen Verträglichkeit zu einem Basismaterial der Recyclingbaugruppe,
- dem Aufbereitungs- bzw. Entsorgungsweg,
- dem Einsatz von recyclingerschwerenden Stör- bzw. Zusatzstoffen und
- dem eingesetzten Recyclatanteil.

Zu den Bewertungskriterien werden Punkte verteilt und zu einer Materialkennzahl MKZ verrechnet. Als Gewichtungsfaktor wird ein Massefaktor und ein Korrekturfaktor vergeben (Abb. 1).

Zur Beurteilung der Verbindungstechnik setzt man das Verfahren der Demontagesimulation ein. Die Ermittlung der Zeitanteile für Funktionen wie "Bauteil erkennen, Verbindung erkennen, Werkzeug wechseln, Verbindung lösen", führen zur Aufwandsabschätzung der jeweiligen Demontagevorgänge und damit zu einer Bewertung der Demontageeignung der eingesetzten Verbindungstechnik (Abb. 2). Das Bewertungsverfahren wird ergänzt um die Produktstrukturbewertung. Das Verfahren bewertet ausgehend

vom sog. Demontagegraph, in dem die logische Abfolge (Vorgänger-/Nachfolgerelationen) der Vorgänge aufgezeichnet wird, die Produktstruktur anhand der Lage jedes Einzelteils in der Demontageebene und der Anzahl der vorab zu demontierenden Bauteile.

Diese Bewertungsmethodik ermöglicht eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Produktentwürfe im Hinblick auf die Demontage- und Recyclingeignung. Der Konstrukteur kann mit den Bewertungskenngrößen unterschiedliche Produktideen noch vor der Detaillierungsphase der Entwürfe entwicklungsbegleitend beurteilen.

Recyclinggerechte Waschmaschine

Am WBK werden derzeit im Rahmen von Industrieprojekten Produkte der "weißen" Ware nach dieser Methodik analysiert und Konzepte für nachfolgende Generationen unter besonderer Berücksichtigung des Recyclingaspektes entwickelt. So wurde z. B. für die Abdeckplatte einer Waschmaschine durch Reduzierung der Materialvielfalt ein werterhaltendes Kunststoffrecycling und damit eine Wiederverwertung möglich. Die Beurteilung des umgestalteten Waschmittelkastens mit Hilfe des Checklistsensystems ergab eine deutlich ver-

besserte Recyclingeignung ausgedrückt in Form einer höheren Materialkennzahl MKZ.

Zukünftig fordert auch der Gesetzgeber den Nachweis einer ordnungsgemäßen Entsorgung von Produkten nach ihrer Gebrauchsphase. Die hierfür anfallenden Kosten müssen zumindest teilweise vom Käufer getragen werden. Damit wird die Wettbewerbsfähigkeit eines Produktes zunehmend durch diesen Kostenfaktor bestimmt. Mittels der Einbindung der Konstruktionsleitlinien der

recyclinggerechten Produktgestaltung in den Entwicklungsprozess kann dieser Kostenanteil verringert werden. Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung von Bewertungsmechanismen, die entwicklungsbegleitend Produktentwürfe nicht nur Herstellkosten, sondern vor allem auch Entsorgungskosten quantifizieren. Ziel ist es, den Gesamtkostenanteil, ausgedrückt in Lebenszykluskosten, im Sinne des Lean-Designs technischer Konsumprodukte zu minimieren