

Multimedia-Unterstützung in der Demontage

Von Dieter Spath, Christian Tritsch und Marko Hartel, Karlsruhe

Die Notwendigkeit, mit Rohstoffen und Energie zukünftig sparsamer umzugehen, rückt angesichts zurückgehender Ressourcen und anwachsender Müll- und Schrotthalde zunehmend in das Bewußtsein der Öffentlichkeit. In diesem Beitrag wird nach einer Einführung in die Demontage- und Entsorgungsproblematik komplexer technischer Produkte ein Softwaresystem zur Planung und Unterstützung der manuellen Demontage industrieller Serienprodukte vorgestellt. Als Wissensbasis dient dabei eine unterlagerte multimediale Demontagedatenbank, in die sich unter anderem Herstellerinformationen über eine entsprechende Schnittstelle einbinden lassen. Darauf aufbauend werden Softwaremodule zur Planung, Organisation und Durchführung der Demontage bereitgestellt.

Ausgangssituation

Die Großserienproduktion der letzten Jahre sowie angestrebte Rücknahmeverpflichtungen der Hersteller lassen zukünftig technische Gebrauchsgüter in bemerkenswerten Stückzahlen zur Entsorgung anfallen. Schätzungen für das Jahr 1994 gehen allein in den alten Bundesländern von etwa 1,5 Millionen t gebrauchten elektrischen und elektronischen Geräten aus, von denen rund 900 000 t auf technische Produkte aus Haushaltungen entfallen [1]. In Anbetracht der zunehmenden Umweltschäden, des knappen Deponieraums sowie der begrenzten Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen ist es erforderlich, von der herkömmlichen Deponierung und Verbrennung weg zu einem größtmöglichen Recycling dieser Produkte zu gelangen, das heißt, die Teile- und Stoffkreisläufe über die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus soweit wie möglich zu schließen [2].

Dabei ist sowohl beim Produktrecycling, das heißt bei der Rückführung von gebrauchten Produkten unter Nutzung der Produktgestalt in ein neues Gebrauchsstadium, als auch beim Altstoffrecycling, das heißt bei der Rückführung von Altstoffen in einen neuen Produktionsprozeß, eine zumindest partielle Demontage erforderlich, **Bild 1**. Denn die Grundlage eines werterhaltenden Recycling ist zunächst die Demontage der Erzeugnisse in Baugruppen und Einzelteile. Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit ge-

eigneter Massenstromtechnologien zur Materialtrennung muß auch zur Verwertung von Altprodukten eine Demontage vorgeschaltet werden, da sich nur dadurch sortenreine oder verträgliche Fraktionen und damit qualitativ hochwertige Sekundärrohstoffe gewinnen lassen [3].

Entwicklungspotential Demontage

Neben den hochtechnisierten, wohlgeordneten Strukturen der herstellenden Industrien machen viele Betriebe der Abfall- und Verwertungswirtschaft einen noch recht unterentwickelten Eindruck. In Anbetracht der zukünftig zu erwartenden Stückzahlen müssen jedoch Anstrengungen zur Technisierung und Rationalisierung der Demontage industrieller Serienprodukte unternommen werden. So ist man beispielsweise in der deutschen Automobilindustrie und bei den Herstellern elektrischer und elektronischer Geräte seit einiger Zeit intensiv dabei, in Pilotprojekten wirkungsvolle Demontage- und Recyclingkonzepte zu erarbeiten [4]. Mittel- und langfristig zeigt sich ein Trend zu langlebigen, an neue Technologien anpaßbaren Konsum- und Gebrauchsgütern, die sich nicht nur zu Reparaturzwecken, sondern auch zum Zweck einer wirtschaftlichen Wiederverwendung oder -verwertung von Komponenten oder Materialien leicht zerlegen lassen [5]. Bei der Entsorgung dieser zukünftig demontagegerecht konstruierten Produkte sind dann auch automatisierte Demontageprozesse durch Übertragung modernster Produktionsverfahren auf die Probleme des Recycling anwendbar, **Bild 2**.

Bisher kommen dabei überwiegend manuelle und nur in geringem Umfang mechanisierte Verfahren zum Einsatz. Diese manuellen Verfahren sind durch einen hohen personellen Aufwand sowie eine mangelhafte Verfügbarkeit von produktbezogener Information für die Planung und Ausführung der Demontage gekennzeichnet [6].

Geräte, Maschinen oder Fahrzeuge, die überwiegend privat genutzt werden, unterliegen wegen des nicht einheitlichen Verbraucherverhaltens völlig unterschiedlichen und unstetigen Beanspruchungen (unsachgemäße Benutzung, Reparatur, Verschmutzung, Korrosion). Es werden daher auch in Zukunft sicherlich nicht alle Produkte einer Serie am Ende ihrer jeweiligen Lebensdauer durch eine Serien-

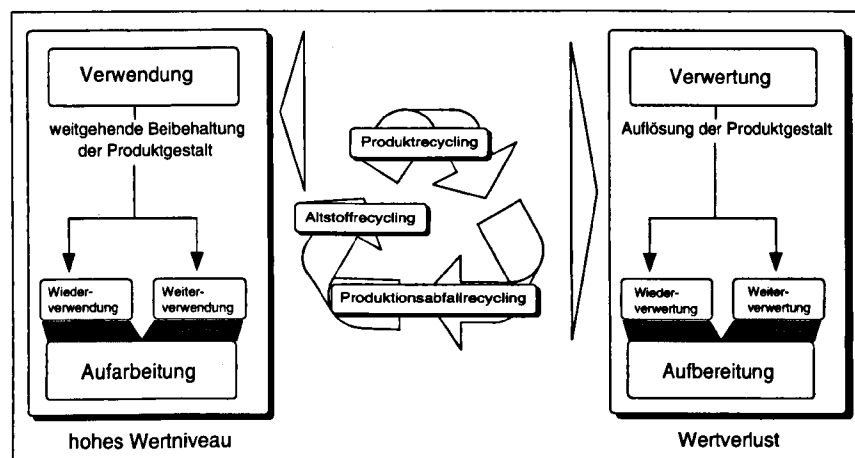


Bild 1. Recyclingformen.

demontage erfaßt werden können. Auch bei demontagegerecht konstruierten Produkten wird eine Vollautomatisierung der Demontageprozesse nur eingeschränkt (meist typspezifisch) oder mit großem Aufwand hinsichtlich Flexibilität und Intelligenz der Systeme zu erreichen sein. Wirtschaftlicher ist eine Kombination manueller Arbeitsvorgänge mit automatisierten Teilprozessen, wie sie in [7] am Beispiel von Elektrokleingeräten vorgestellt wird.

Aufgrund kleiner Losgrößen und der ständig wechselnden Anforderungen des Marktes an Sekundärrohstoffe und Austauschteile werden daher für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Demontage flexible, rechnergestützte Systeme benötigt. Dabei ist es erforderlich, angepaßt an aktuelle Randbedingungen (Abnehmersituation, Gesetzeslage) eine Demontage- oder Entsorgungsplanung vorzunehmen und die dabei erzeugte Arbeitsvorgangsfolge für eine Einplanung auf vorhandene Betriebsstrukturen zu nutzen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit muß insbesondere an den manuellen Arbeitsplätzen auch ein flexibler Einsatz niedrigqualifizierter Werker möglich sein, wozu leicht verständliche Arbeitsan- und -unterweisungen notwendig sind.

Demontageplanungs- und -unterstützungssystem

Im folgenden wird ein System zur Unterstützung der betrieblichen Abläufe bei der Demontage industrieller Serienprodukte vorgestellt, bei dem zunächst flexible manuelle oder mechanisierte Arbeitsstationen berücksichtigt werden. Als Wissensbasis dient eine unterlagerte, relationale Demontagedatenbank, in der alle wichtigen Informationen wie Produktdaten, Betriebsmitteldaten und Demontagedaten strukturiert abgelegt sind. Darauf aufbauend werden Softwaremodule zur Auftrags erfassung, Produkt- und Datenanalyse, Planung, Organisation und Ausführung der Demontage bereitgestellt.

Auf der Basis der aktuellen Markt- und Abnehmersituation werden die Demontagevorgänge festgelegt und entsprechende Informationen zur Arbeitssteuerung und Demontageprozeßunterstützung bereitgestellt. Mit Hilfe von Multimedia-Technologien wird die Einbindung von verfügbarer Herstellerinformation (zum Beispiel Explosionszeichnungen), aber auch von im Rahmen einer Probedemontage erzeugter Zusatzinformation (beispielsweise Bil-

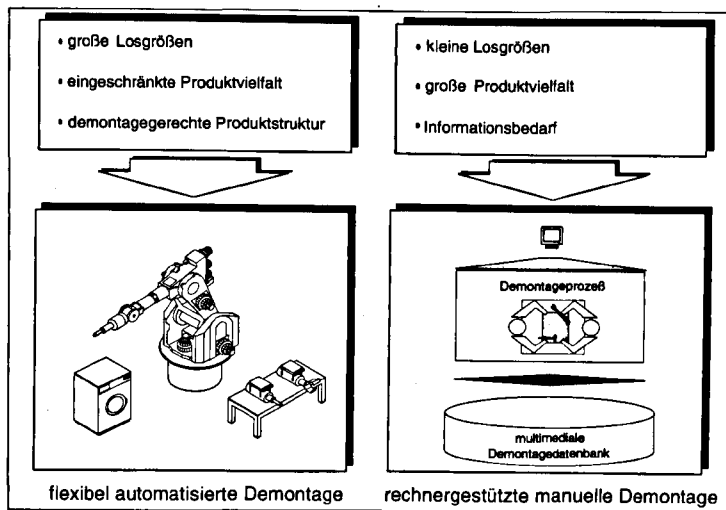


Bild 2. Demontagekonzepte.

der und Videosequenzen) zur qualifikationsangepaßten Darstellung von Arbeitsanweisungen sowie zur Unterstützung der Demontageplanung möglich. Das in Form eines Hypertext-Systems realisierte Informationsmodul zu Recyclingtechnologie und Materialdaten übernimmt einerseits Schulungsaufgaben und andererseits die Unterstützung bei der Planung nachgeschalteter Entsorgungs- und Recyclingprozesse, Bild 3.

Grundlage der gespeicherten Produktdaten sind modular gegliederte Demontearbeitspläne, denen Produkt- und Teilstammdaten, Strukturdaten sowie verfügbare Teile- und Baugruppenansichten zugeordnet sind. Hierbei ist zu beachten, daß die Demontage bei zur Zeit anfallenden Altprodukten nur in Ausnahmefällen die Umkehrung der entsprechenden Montagevorgänge ist. Es handelt sich hierbei vielmehr um eine rationale und fraktionsorientierte Vorgehensweise zur Zerlegung eines Altproduktes. Das heißt, mit möglichst wenig Aufwand sollen gemeinsam rezyklierbare Materialien oder Bauteile zur erneuten Verwendung ausgebaut werden, wobei auch zerstörende Verfahren zum Einsatz kommen können.

Demontageplanung

Die Demontageablaufplanung findet in zwei Schritten statt.

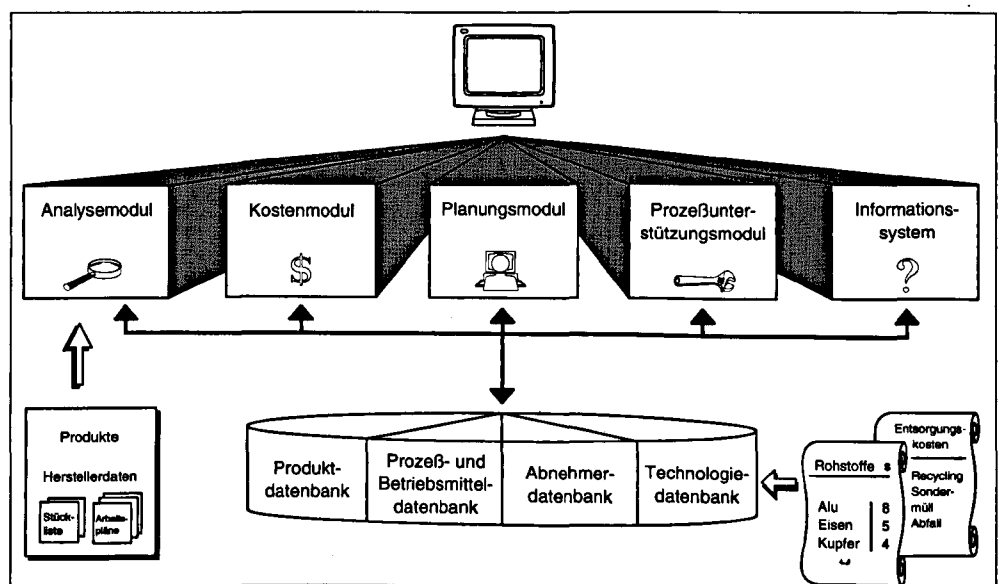


Bild 3. Architektur des Demontageplanungs- und -unterstützungssystems.

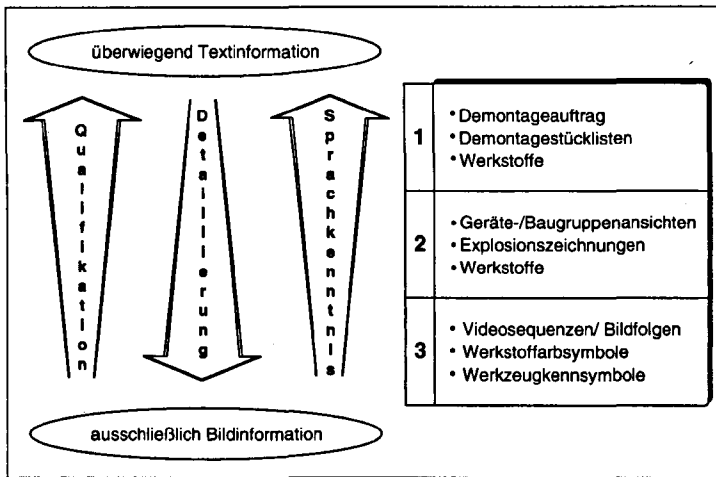


Bild 4. Qualifikationsgerechte Bereitstellung von Demontageinformation.

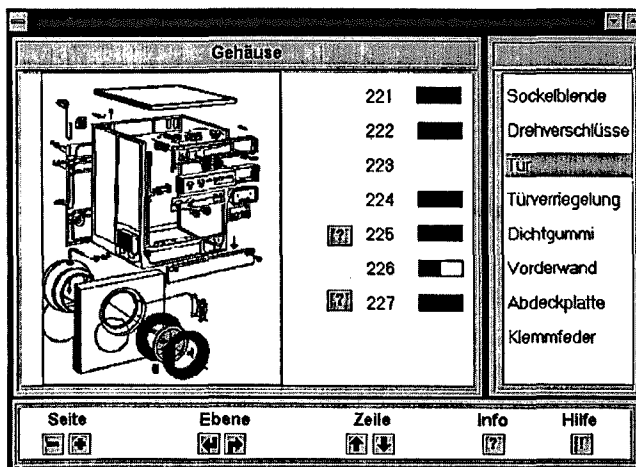


Bild 5. Bereitstellung der Information am Demontagearbeitsplatz.

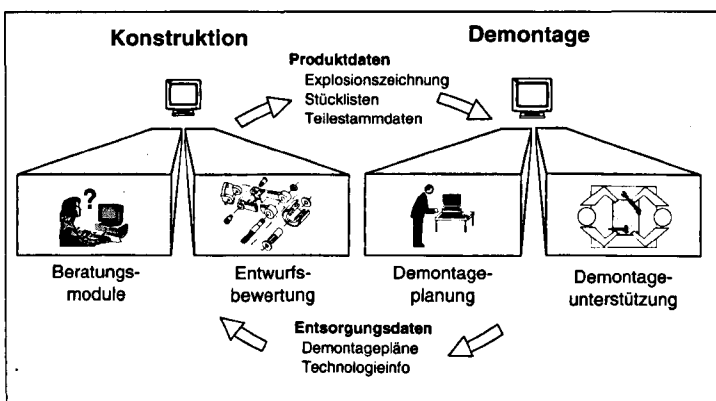


Bild 6. Informationsaustausch zwischen Konstruktion und Demontage.

Im Rahmen einer auftragsunabhängigen Planung wird durch Neu- oder Ähnlichkeitsplanung ein modularer, nach Demontageebenen strukturierter Arbeitsplan erzeugt. Den einzelnen Demontageschritten fest zugeordnet sind technologische Daten, Aufwands- (zum Beispiel Zeitvorgaben) und Demontageinformationen. Entsprechend den in den ausgebauten Komponenten enthaltenen Materialien oder den Bauteilen, die einer erneuten Verwendung zugeführt werden können, ist die Zuordnung zu einer in der Datenbank vorhandenen Altstoffgruppe mit entsprechender Abnehmer- und Preisinformation möglich. Liegen keine Zerlegeangaben seitens der Konstruktion oder Demonta-

gedaten ähnlicher Produkte vor, muß beim erstmaligen Auftreten eines Altprodukts eine Probedemontage zur Erzeugung und Strukturierung des auftragsunabhängigen Demontageplans durchgeführt werden.

Im zweiten Schritt, bei aktuell zur Entsorgung anstehenden Produkten, wird die auftragsabhängige Demontevorgangsfolge bestimmt. Aufbauend auf entsprechenden Vorgaben seitens des Planers (zum Beispiel Schadstoffe entsprechend der Gesetzeslage auszubauen) wird durch Abgleich mit der aktuellen Marktsituation (Deponierungs- und Entsorgungskosten, erzielbare Erlöse für Sekundärrohstoffe und Sekundärbauteile) eine wirtschaftlich sinnvolle Demontagetiefe bestimmt. Damit werden die auszuführenden Arbeitsschritte festgelegt.

Unterstützung des Demontageprozesses

Die bei der Planung erzeugte auftragsabhängige Demontevorgangsfolge bildet die Grundlage für die Arbeitssteuerung (Termin- und Kapazitätsplanung, Arbeitsteilung) sowie für die Informationsbereitstellung am Arbeitsplatz. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei die Anpassungsfähigkeit von Informationsdichte und Detaillierungsgrad an die Bedürfnisse des einzelnen Werkers, damit niedrigqualifizierte Arbeitskräfte an den manuellen Demontagestationen flexibel und rationell eingesetzt werden können.

Der Detaillierungsgrad der Arbeitsanweisungen steigt mit abnehmender Qualifikation und Sprachbeherrschung der Demontagerwerker bis hin zu textfreier Information (Geräte- und Baugruppenansichten, Bildfolgen, Verwendung von Form- und Farbsymbolen zur Zuordnung von Werkzeugen und Werkstoffen). In Bild 4 sind drei solcher Qualifikationshierarchien dargestellt. In der obersten Ebene genügen Demontagestücklisten oder genügt der abrufbare Demontageauftrag aus Information, während in der untersten Qualifikationsebene die einzelnen Demontageschritte durch Videosequenzen oder Bildfolgen erläutert werden. Werkzeuge, Werkstoffe, Wiederverwendungsteile werden dort ausschließlich durch Form- oder Farbsymbole gekennzeichnet. Von der obersten Ebene kann hin zu detaillierterer Information verzweigt werden, der umgekehrte Weg ist nicht möglich. Bild 5 zeigt beispielhaft eine Arbeitsplatzinformation der zweiten Ebene.

Die Berücksichtigung der Demontageerkenntnisse bereits im Entwicklungsprozeß eines Produktes gewinnt im Hinblick auf eine Vereinfachung der Demontageprozesse zunehmend an Bedeutung. Im Konstruktionsprozeß werden Informationen über Entsorgungsmöglichkeiten und Demontagetechniken benötigt, und umgekehrt beeinflussen die in der Konstruktion getroffenen Entscheidungen die spätere Demontage und Entsorgung eines Produktes [8]. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer bidirektionalen Informationsübertragung zwischen Konstruktion und Demontage, die in entsprechenden Systemkonzepten zu berücksichtigen ist, Bild 6. Am wbk wird derzeit auch an einer umfassenden Rechnerunterstützung für den Entwickler gearbeitet (REKON-Softwaresystem zur recyclinggerechten Konstruktion). Dieses System macht den Vergleich von Produktentwürfen durch ökologische Bewertungskriterien mit der Zielsetzung, den Entwickler zu einem recycling- und demontagerechten Produktaufbau zu führen, möglich.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe entwickelter Softwareprototyp zur Unterstützung der manuellen Demontage technischer Serienprodukte vorgestellt. In einer ersten Ausbaustufe wurde das Demontageplanungs- und Prozeßunterstützungsmodul realisiert. Zukünftige Entwicklungen zielen einerseits in Richtung Angebotserstellung auf der Basis vorhandener Daten ähnlicher Produkte zur produktspezifischen, verursachungsgerechten Vorkalkulation der Entsorgungskosten. Andererseits ist beabsichtigt, intelligente „Werkzeuge“ (Tools) zur automatischen Demontagedatengewinnung aus in heterogenen Formaten vorhandener Hersteller-Produktinformation zu entwickeln.

Literatur

- [1] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie: Lösungskonzept der deutschen Elektroindustrie für die Verwertung und Entsorgung elektrotechnischer und elektronischer Geräte. Memorandum, 1993.
- [2] Richtlinie VDI 2243: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. Berlin: Beuth Verlag, 1993.
- [3] Seliger, G.; Hentschel, C.: Von der Montage zur Demontage – Einfälle zur Verwertung von Abfällen. Vortragsmanuskript, 1. Chemnitzer Konstrukteurstage, 1993.
- [4] Hartmann, M.; Lehmann, F.: Demontage. Teil 2: Aktivitäten der Industrie. VDI-Z 135 (1993), Nr. 3, S. 92–102.
- [5] Stahel, W. R.: Langlebigkeit der Produkte als Ausweg aus den Zielkonflikten beim Recycling. VDI-Berichte 1089, S. 1–11. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [6] Jovane, F., u. a.: A Key Issue in Product Life Cycle: Disassembly. Keynote paper. Annals of the CIRP 42 (1993), Nr. 2, S. 651–658.
- [7] Dieterle, A.: Flexible Demontage von Elektrokleingeräten. Produktionsautomatisierung (1993), Nr. 6, S. 13–15.
- [8] Spath, D.; Hartel, M.: Recyclinggerechtes Konstruieren – Element moderner Produktentwicklung. Vortragsmanuskript, 1. Chemnitzer Konstrukteurstage, 1993.

Die Autoren

o. Prof. Dr.-Ing. *Dieter Spath*, Jahrgang 1952; Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität München; 1981 Promotion am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der TU München; Eintritt in die KASTO-Firmengruppe 1981 und seit 1988 dort Geschäftsführer; 1992 Ernennung zum ordentlichen Professor an der Universität (TH) Karlsruhe, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk).

Dipl.-Ing. *Christian Tritsch*, Jahrgang 1964; Studium der Elektrotechnik an der Universität (TH) Karlsruhe; seit 1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk).

Dipl.-Ing. *Marko Hartel*, Jahrgang 1967; Studium des Maschinenbaus an der Universität (TH) Karlsruhe; seit 1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik (wbk).