

INTELLIGENTE VERBINDUNGSKONZEPTE FÜR DIE AUTOMATISIERTE DEMONTAGE

Jan Klett

Zusammenfassung

Derzeit wird aufgrund geringer Stückzahlen und großer Produktvielfalt fast ausschließlich selektiv und in Handarbeit demontiert, was dazu führt, dass Demontageprozesse teuer und unwirtschaftlich sind. Um eine große Zahl von Produktvarianten in einem angemessenen Zeitraum demontieren zu können, ist ein automatisiertes Demontagesystem mit der Möglichkeit der sequenziellen, simultanen und selektiven Demontage notwendig (Bild 1). Mit den bisherigen Verbindungskonzepten ist dies jedoch nur eingeschränkt realisierbar. Deshalb wird über den Einsatz von Verbindungskonzepten nachgedacht, die sich selbsttätig durch ein äußeres Signal zu einem definierten Zeitpunkt lösen. Die Realisierung dieser Verbindungselemente erfordert Kenntnisse über Schlussarten von Verbindungen und eine Methodik zur Entwicklung von Schlusslöseelementen. Aus diesem Grund werden die Schlussarten konventioneller Verbindungen zunächst analytisch untersucht und auf dieser Basis Schlusslösemechanismen entwickelt.

1 Motivation zur Entwicklung intelligenter, aktiver Verbindungskonzepte

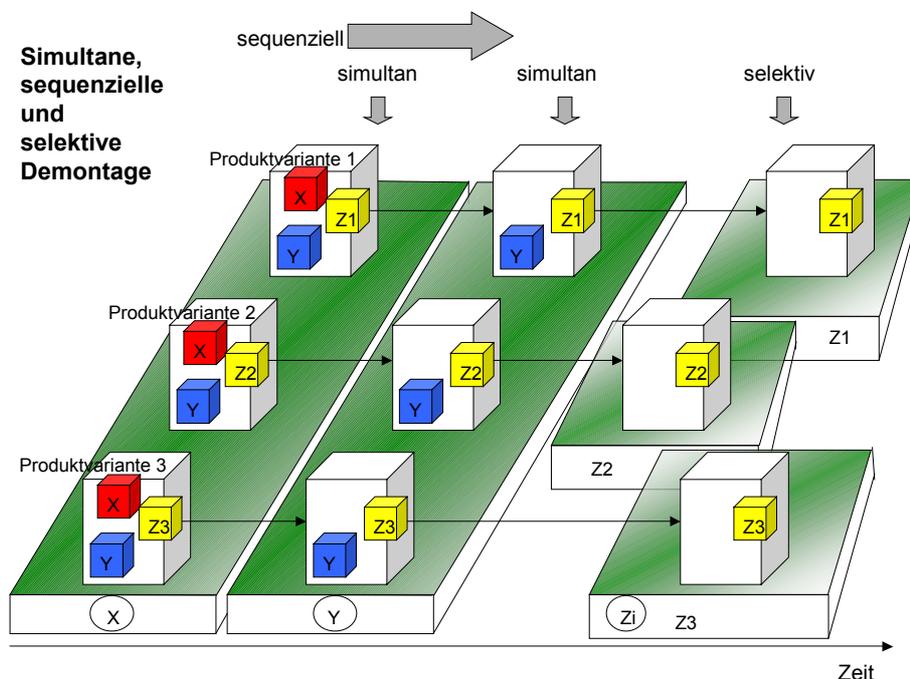


Bild 1: Darstellung der simultanen, sequenziellen und selektiven Demontage

Die Forderung nach einer umweltgerechten Weiterverarbeitung von ausgedienten technischen Geräten wird immer lauter. Um diesen Forderungen gerecht zu werden, ist es not-

wendig, verschiedene Recyclingarten zu gestalten. Diese werden unterteilt in Produktrecycling und Materialrecycling. Während beim Produktrecycling Komponenten zur Wieder- oder Weiterverwendung auf- oder umgearbeitet werden, werden diese beim Materialrecycling für die Wieder- oder Weiterverwertung aufbereitet. Weder dem Produkt- noch dem Materialrecycling zuführende Komponenten enden in der Deponie bzw. der Umwelt [1].

Um ein komplexes Produkt dieser Nachgebrauchsphase zuzuführen, ist es erforderlich, dass man es in die einzelnen Recyclinggruppen zerlegt. Die Demontage von variantenbildenden Produkten mit hohen Stückzahlen in einem angemessenen Zeitraum erfordert eine automatisierte Demontage [2]. Neben den Demontageeinrichtungen sind aber auch die Produkte selbst auf dieses Ziel hin zu gestalten. Die Komponenten die in der Nachgebrauchsphase getrennten Recyclingflüssen zugeführt werden, sind durch Verbindungen fest miteinander verbunden. Es ist daher sinnvoll, neben einer Optimierung der Baustruktur auch die Verbindungskonzepte kritisch zu betrachten und zu optimieren.

Eine Optimierung des Verbindungskonzepts stellt das intelligente, aktive Verbindungselement dar. Die Fähigkeit, sich durch ein von außen zugeführtes Signal oder eine Umgebungsänderung selbst zu lösen, ist ein Lösungsansatz zur Automatisierung der Demontage von Produkten. Hiermit kann die Kombination der simultanen, sequenziellen und selektiven Demontage realisiert werden (Bild 1).

2 Schematische Betrachtung konventioneller und intelligenter, aktiver Verbindungselemente

Bei der Entwicklung des neuen Verbindungskonzepts werden nur feste Verbindungen betrachtet während bewegliche außer acht bleiben. Ein festes Verbindungselement hat die Funktion, zueinander positionierte Elemente zusammenzufassen und dauerhaft miteinander zu fixieren. Während der Schluss konventioneller Verbindungselemente per Hand oder Werkzeug direkt am Verbindungselement aufgelöst wird, wird dieser bei den intelligent, aktiven Verbindungselementen über ein von außen steuerbares, direkt an das Verbindungselement adaptierte Schluslöseelement realisiert.

2.1 Konventionelle Verbindungselemente

Abstrahiert wird das konventionelle Verbindungselement aus den Komponenten Zusammenfassung und Schlusselement gebildet. Der Vorgang des Fügens ist das Zusammenbringen bzw. Positionieren der Komponenten mit der Zusammenfassung. Mit dem Schlusselement wird die Zusammenfassung fixiert und in eine Verbindung überführt. Der Schluss wird bei konventionellen Verbindungselementen durch ein Werkzeug oder per Hand realisiert.

Ein Beispiel für ein Schlusselement ist der Splint bei einer Bolzenverbindung. Es gibt aber auch Verbindungselemente bei denen das Schlusselement in das Zusammenfassungselement integriert ist. Bei der Schraube kommt der Schluss dadurch zustande, dass ab einer bestimmten Einschraubtiefe die Gewindereibung und die Kopfreibung soweit ansteigt, dass ein Kraftschluss entsteht. Ferner gibt es Verbindungen die auf ein separates Verbindungselement verzichten. Die Zusammenfassung und das Schlusselement sind dann in die zu verbindenden Komponenten integriert. Dies ist zum Beispiel bei Kunststoffteilen, die über Schnappverbindungen miteinander verbunden sind, der Fall.

In [3] werden Verbindungen systematisch untersucht und Schlussarten herausgestellt, des Weiteren wird eine Schlussartenmatrix entwickelt aus der die gesperrten Richtungen mit den

jeweiligen Schlussarten hervorgehen. Die Bewegungen die zum Schluss und zur Fügung führen, gehen hieraus jedoch nicht hervor.

2.2 Erweiterung zum intelligenten, aktiven Verbindungselement

Intelligente, aktive Verbindungselemente unterscheiden sich von konventionellen dadurch, dass sie sich durch ein äußeres Signal oder die Änderung äußerer Umstände in den geöffneten oder geschlossenen Zustand versetzen. Das Prinzip ist dem einer Kupplung ähnlich, die ferngesteuert eine Relativbewegung zulässt oder verhindert. Der Signalfluss wird in Bild 2 schematisch beschrieben.

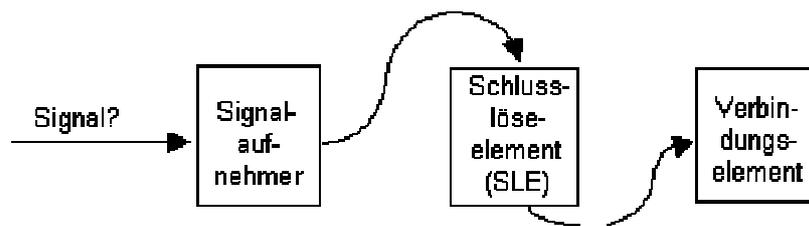


Bild 2: Schematische Darstellung eines intelligenten, aktiven Verbindungselements

Durch dieses neuartige Verbindungskonzept kann die Demontageeffizienz gesteigert werden, da sich die Verbindungen mehrerer Produkte in einem Arbeitsschritt durch das gleiche Signal simultan, ohne Werkzeug lösen (Bild 1). Das zur Lösung des Schlusses notwendige Element, um das das Verbindungselement erweitert werden muss, wird hier als Schlusslöseelement bezeichnet. Das Schlusslöseelement wird durch ein äußeres Signal aktiviert und hebt daraufhin den Schluss des Verbindungselements auf. Aus der Verbindung wird eine lösbare Zusammenfassung.

Ein erster Ansatz zu intelligenten, aktiven Verbindungselementen kann in der Arbeit von Neubert [4] gesehen werden. Darin stellt er prinzipielle Lösungen die auf thermischen, pneumatischen und stofflichen Wandlern beruhen vor und führt sie prototypisch anhand eines pneumatischen Wandlers, einer wasserlöslichen Schraubenverbindung und eines Gefriereelements aus. Im Unterschied zu der hier vorliegenden Aufteilung in Schlusslösen und Entfügen gliedert er den Demontageprozess in Primär- (Trennen der Komponenten) und Sekundärdemontage (Handhaben der Komponenten) auf.

Für die Entwicklung intelligenter, aktiver Verbindungselemente sind Kenntnisse über Schlussarten und -entstehung notwendig. Im Sinne einer umfassenden Lösung sollte hierfür eine möglichst allgemeine Darstellungsform gefunden werden.

3 Betrachtung des Demontagevorgangs

Der Demontagevorgang wird unterteilt in den Schlusslösevorgang und den Entfügevorgang. Roth gliedert die drei Hauptkategorien Stoffschluss, Berührungschluss und Kraftschluss als Schlussarten von Verbindungen auf [3]. Den Kraftschluss unterteilt er weiter in nachgiebig und steif, Feldkraftschluss, Haftreibschluss und Klemmreibschluss. Diese Unterteilung ist jedoch für die Betrachtung der Schlusslösung zu detailliert, so dass im folgenden nur mit den drei Hauptkategorien weitergearbeitet wird und in die weitere Unterteilung des Kraftschlusses nach Bedarf vorgedrungen wird. Aus diesen bekannten Schlussarten werden Möglichkeiten erarbeitet, Verbindungselementschlüsse optimal zu lösen. Nach erfolgter Schlusslösung hängt die geforderte Wirtschaftlichkeit in hohem Maße auch von der Trennung bzw. dem

Entfügen der Komponenten einschließlich des Verbindungselements ab. In Tabelle 1 wurden den Schlussarten mögliche Entstehungen zugeordnet und die einzelnen Fälle durch bekannte Verbindungselemente belegt. Hieraus wird ersichtlich, dass trotz des Unterschieds von Verbindungselement und zum Schluss führenden Prozess die gleiche Schlussart erreicht werden kann.

erreicht durch:	Rotation	Translation	Wärmezu- fuhr	Vernetzung	Umformung
Schlusskraft:					
Stoffschluss	Reibschweißen	Reibschweißen	Schweißen	Kleben	
Berührungsschluss		Schnappverbindung mit Spiel, Bolzen mit Splint			
Kraftschluss	Kreiskeilverbindung	Press- und Steckverbindungen, Schnappverbindung ohne Spiel			Nietverbindung

Tabelle 1: Schlussarten und ihre Entstehung

3.1 Auflösung des Schlusses

Bei der Kenntnis über das Wirkprinzip und das Zustandekommen eines Schlusses können gezielt Wirkprinzipien für dessen Schlusslösung abgeleitet und optimiert werden. In Tabelle 2 sind mögliche Füge- und Schließprozesse hinterlegt, die kombiniert jedes Verbindungselement darstellen können. Sie sind zur Charakterisierung nützlich und notwendig, um ein entsprechendes Schlusslöseelement zu entwickeln. In der Spalte Schlusslösung sind hierfür zur Verfügung stehende Prinzipien aufgeführt.

Fügebewegung	Schlusserzeugung	Schlusslösung	Entfügebewegung
Translation	Stoff	Mechanisch (Kraft) z.B. „Herausbewegen“	Translation
Rotation	Berührung	Thermisch (Aggregatzustand) z.B. „Schmelzen“	Rotation
	Kraft	Biologisch/Chemisch (Atomarer Aufbau) z.B. „Auflösen“	

Tabelle 2: Allgemeiner Ansatz zur Bestimmung des Demontagevorgangs in Abhängigkeit vom Montagevorgang

3.2 Entfügen und somit Auflösen der Verbindung bzw. Trennen der Komponenten

Entfügen ist hier definiert als das Vereinzeln der durch eine Verbindung zusammengehaltenen Komponenten und ihren Verbindungselementen. Für eine einfache Demontage ist es effizient, die Auflösung der Zusammenfassung durch Translation in einem Richtungssinn zu ermöglichen. Nach der Auflösung des Schlusses könnte die Komponente beispielsweise durch einen Sauggreifer entnommen werden oder unter Zuhilfenahme einer Feldkraft wie beispielsweise der jederzeit vorhandenen Schwerkraft ohne Werkzeug entfügt werden. Als Beispiel für einen größeren Demontageaufwand sei hier eine Schraube, die zwei Teile miteinander verbindet, angeführt. Der Schluss dieser Verbindung beruht auf der Haftreibung im Gewinde und an den axialen Anschlagflächen (Schraubenkopf). Ist dieser Schluss aufgehoben, so ist zum Entfügen weiterhin eine Rotationsbewegung notwendig.

4 Methodische Vorgehensweise

Um ein allgemeines, auf alle Verbindungselemente anwendbares Modell für ein Schlusslöseelement zu entwickeln, wird anhand der Funktionsstruktur ein methodischer Ansatz erarbeitet. Die erforderlichen Funktionen eines intelligenten, aktiven Verbindungselements lassen sich wie folgt aufgliedern: „Komponenten zusammenfassen“, „Entfügerichtungen sperren“, „Sperrung aufheben“.

Jede Verbindung kann durch die Parameter:

- Element zur Zusammenfassung,
- Bewegung zur Erzeugung der Zusammenfassung,
- Element zur Schlusserzeugung,
- Bewegung zur Schlusserzeugung und
- Beziehung der Bewegungsrichtungen zueinander

charakterisiert werden (Tabelle 3). Diese fünf Parameter liefern eine zuverlässige Aussage über den bei der Montage und Demontage notwendigen Bewegungsablauf (und Aufwand) und geben dadurch ein mögliches Wirkprinzip für das Schlusslöseelement.

Verbindung	Zusammenfassung		Schluss		Richtungssinn
	Element	Bewegung (Z)	Element	Bewegung (S)	Bew (Z)/Bew (S)
Schraubenverbindung	Schraube	Rotation	-	Rotation	gleich
Nagel	Nagel	Translation	-	Translation	senkrecht
Schnappverbindung	Arm des Schnapphakens	Translation	Schnapphaken	Translation senkrecht zu Bewegung	senkrecht
Bolzenverbindung	Bolzen	Translation	Splint	Translation	senkrecht
Viertel-Dreh-Verschluss	Bolzen, Feder	Translation	Bolzen, Führungsscheibe	Rotation	-

Tabelle 3: Charakterisierung von Verbindungen anhand der fünf Kriterien (Z = Zusammenfassung, S = Schluss)

Während Tabelle 3 wie ein Lösungskatalog konkrete Verbindungselemente klassifiziert, gibt der morphologische Kasten in Bild 3 allgemeine Lösungsmöglichkeiten zur Zusammenfassung und Schlusserzeugung. Dies eröffnet dem Konstrukteur bereits in den frühen Entwicklungsphasen die Möglichkeit, Einfluss auf die Füge- und Entfüge- sowie die Schluss- und Schlusslösebewegung zu nehmen ohne sich auf ein konkretes Verbindungselement festzulegen. Während die Schlusslöserichtung und die Schlussart selbst von entscheidender Bedeutung für die Auslegung des Schlusslöseelements ist, wird mit der Entfügerichtung der Entfügevorgang bestimmt.

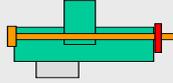
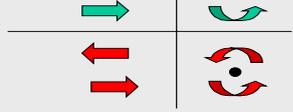
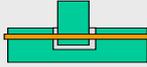
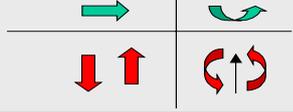
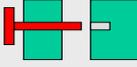
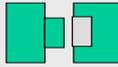
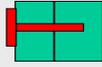
Nr.	Bewegung beim Zusammenfassen	Bewegung beim Schließen	Richtungssinn Zusammenfassung/Schluss
1	Translation mit Zusammenfassungselement 	Translation mit Schlusselement 	gleich 
2	Translation ohne Zusammenfassungselement 	Translation ohne Schlusselement 	ungleich 
3	Rotation mit Zusammenfassungselement 	Rotation mit Schlusselement 	
4	Rotation ohne Zusammenfassungselement 	Rotation ohne Schlusselement 	

Bild 3: Systematisierung von Verbindungen nach Zusammenfassung und Schlusserzeugung

5 Zusammenfassung

Durch Verbindungskonzepte mit Verbindungselementen die sich selbstständig lösen, wird ein ganz neuer Weg in der Automatisierung des Demontagevorgangs beschritten. Des Weiteren stellt das Lösen von Verbindungen kein Problem mehr in Bezug auf Werkzeugzugänglichkeit dar. Zur Generierung dieser Verbindungselemente sind Kenntnisse über die Entstehung von Schluss- und Fügearten sowie deren Kombination in den einzelnen Verbindungen notwendig. Anhand dieser bekannten Größen sollen Verbindungselemente mit Schluslöselement entwickelt werden, die auf mechanischem, thermischem, biologischem oder chemischem Prinzip beruhen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] VDI 2243: *Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte*. Oktober 1993
- [2] Brandt, Rainer: *Demontageorientierte Produktentwicklung – Ein Beitrag zur Gestaltung umweltgerechter Produkte*, Dissertation Technische Universität Berlin, 2000
- [3] Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, Band III, Verbindungen und Verschlüsse, Lösungsfindung, Springer 1996
- [4] Neubert, Holger.: *Simultan lösbare Verbindungen zur Rationalisierung der Demontage in der Feinwerktechnik*. Dissertation Technische Universität Dresden, 2000

Dipl.-Ing. Jan Klett
 Institut für Konstruktion, Mikro- und Medizintechnik
 Technische Universität Berlin
 Sekr. H10, Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin
 Tel: 030/314-26686, Fax: 030/314-26481
 Internet: klett@ktem.tu-berlin.de