

HANDLUNGSHILFEN FÜR DAS RECYCLING- UND INSTANDHALTUNGSGERECHTE KONSTRUIEREN

E.G. Welp, U. Lindemann

1 Einleitung

Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft wird, getrieben durch die ökologische Notwendigkeit und durch den ökonomischen Nutzen, mehr und mehr zu einer Herausforderung für die Produkt- und Prozessentwicklung im Maschinen- und Anlagenbau. Einen besonderen Stellenwert nimmt dabei das Recycling von Produkten und Materialien ein, in dem es zielgerichtet eingesetzt die Rohstoff- und Energieressourcen schont sowie die Umweltbelastungen reduziert. Die Unternehmen haben inzwischen erkannt, dass recyclinggerechte Produkte nicht nur kostenintensive Maßnahmen in der Produktentwicklung und -herstellung auslösen, sondern zu einer Strategie werden können, die die Wettbewerbsposition am Markt verbessert. Da die Produktentwicklung die wesentliche Verantwortung für die Recycling- und Instandhaltungsfähigkeit der Produkte trägt, müssen ihr geeignete Methoden und Hilfsmittel zur Verfügung stehen, um diese Zielsetzung zu erreichen. Inhalt und Umfang bisher verfügbarer Methoden und Hilfsmittel zeigen aber, dass ihre Anwendung in vielen Fällen nur abstrakt und allgemein möglich ist und im Einsatz, insbesondere bei Maschinen und Anlagen des Investitionsgüterbereiches, erhebliche Mängel und Lücken aufweisen. Darüber hinaus bleibt die Wechselwirkung mit anderen Gerechtheiten einer Konstruktion weitgehend unberücksichtigt. Die Zielsetzung dieses Beitrages besteht deshalb darin, auf der Basis eines methodischen Rahmens dem Produktentwickler sogenannte Handlungshilfen für das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren zur Verfügung zu stellen, die seine Lösungs- und Entscheidungsfindung im Entwicklungsprozess erleichtern und beschleunigen. Die Ausführungen stellen somit einen Beitrag zum Life-Cycle-Engineering dar.

2 Recycling und Instandhaltung

Je nach Recyclingform durchlaufen Produkte Aufarbeitungs- oder Aufbereitungsprozesse. Die Aufarbeitung dient der Bewahrung oder Wiederherstellung der Produkteigenschaften zur Wieder- oder Weiterverwendung, während die Aufbereitung der Bewahrung von Materialien und Stoffen zur weiteren Verwertung dient [1]. In der Differenzierung stellt die Wieder- oder Weiterverwendung eine Recyclingform auf hohem Wertniveau dar, weil sie die weitgehende Beibehaltung der Produktgestalt beinhaltet. Die Wiederverwendung charakterisiert dabei die erneute Nutzung eines gebrauchten Produktes für den gleichen Verwendungszweck im Anschluss an einen Behandlungsprozess. In Unterscheidung dazu beinhaltet die Weiterverwendung die erneute Nutzung eines gebrauchten Produktes für einen anderen Verwendungszweck nach einem Recycling-Behandlungsprozess. Im Gegensatz dazu wird bei der Wieder- oder Weiterverwertung die Produktgestalt aufgelöst, was mit einem größeren Wertverlust verbunden ist. Je nachdem, ob bei der Verwertung eine gleichartige oder eine veränderte Produktion durchlaufen wird, unterscheidet man definitionsgemäß zwischen Wiederverwertung mit dem wiederholten Einsatz von Altstoffen und Produktionsrücklaufmaterial bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem gleichartigen wie den bereits durchlaufenen Produktionsprozess und der Weiterverwertung mit dem Einsatz von Materialien und Stoffen in einem von diesen noch nicht durchlaufenen Produktionsprozess.

Die betrieblichen Bestrebungen, Recycling in den hier gekennzeichneten Formen zu betreiben, basieren zum einen auf Gesetze und Verordnungen und zum anderen auf Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten. Der normative Zwang zum Recycling, vor dem Hintergrund des Ressourcenverbrauchs und der Umweltbelastungen, resultiert in einer qualitativen Abstufung aus dem Abfallgesetz von 1986 und darauf aufbauend aus dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz von 1994. In dieser Gesetzgebung wird in einem ganzheitlichen Ansatz der Abfallvermeidung Vorrang vor der Abfallverwertung gegeben. Die in diesem Verständnis am weitesten vorangetriebenen Gesetzgebungen sind die 1998 verabschiedete IT-Altgeräte-Verordnung und die Altauto-Verordnung, die beide dem Konsumgüterbereich zuzuordnen sind. In diesen Verordnungen wird vom Gesetzgeber das Grundprinzip der „geteilten Produktverantwortung“ verfolgt, auf dessen Basis die Rücknahme, Verwertung und Beseitigung von Konsumgüterprodukten geregelt ist. Wenngleich normative Regelungen dieser Art im Investitionsgüterbereich noch nicht existieren, geht der Gesetzgeber davon aus, dass sie recyclingfördernde Impulse auch für diese Produktgruppen auslösen.

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung steht der erzielbare Erlös, der sich aus der Differenz zwischen Entsorgungskosten für ein Gesamtprodukt und den Kosten für die eingeschränkte Entsorgung oder Weiterverwendung der separierten Anteile ergibt, im Vordergrund. Hier haben sich zwei Kategorien in der Recyclingbranche herausgebildet, nämlich einerseits die Wertstoffverwerter, die Materialien und Stoffe aufbereiten und die Reststoffe entsorgen, sowie andererseits die Aufarbeiter, die brauchbare Bauteile und Komponenten aufarbeiten und nicht wiederverwendbare zur Materialverwertung weiterleiten. Für diese Vorgehensweisen stehen Recyclingstrategien zur Verfügung, die im Falle der Wertstoffverwertung z.B. optimale Demontagetiefen [2] und im Falle der Aufarbeitung z.B. optimierte Produktionsprozesse [3] beinhalten. Dennoch bleibt festzuhalten, dass sich diese Recyclingstrategien im Investitionsgüterbereich, bis auf die Ausnahme eines begrenzten Gebrauchtmaschinenmarktes, aufgrund des geringen Erlöspotentials nicht durchgesetzt haben. Dies ist darin begründet, dass die Recyclinggerechtigkeit als Ziel der Produktentwicklung und Konstruktion in diesem Bereich bisher keine oder nur eine untergeordnete Rolle gespielt hat.

Die Instandhaltung ist der Oberbegriff für Wartung, Inspektion und Instandsetzung. Dabei dient die Wartung der Bewahrung des Sollzustandes, die Inspektion der Beurteilung des Istzustandes und die Instandsetzung der Wiederherstellung des Sollzustandes eines Produktes [4]. Die Maßnahmen der Instandhaltung helfen also, die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen sicherzustellen sowie die Lebensdauer dieser zu verlängern.

Da die Verfügbarkeit und die Nutzungsdauer von Maschinen und Anlagen für den Betreiber von zentraler Bedeutung sind, motiviert sich die Instandhaltung allein durch betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte. So gelten als Richtwert für die finanziellen Aufwendungen zur Instandhaltung in Industrieunternehmen 6 - 10 % vom Jahresumsatz. Bezieht man den Aufwand für die Ersatzteillagerung und deren Kapitalbindung mit ein, dann können die Instandhaltungsaufwendungen bis zu 25 % betragen [5]. Auch wenn vor diesem Hintergrund im Unterschied zum Recycling sehr viel früher operative und präventive Instandhaltungsstrategien entwickelt wurden, bleibt festzuhalten, dass auch hier ein erhebliches Verbesserungspotential für die instandhaltungsgerechte Produktentwicklung und Konstruktion ausgeschöpft werden kann.

2.1 Gemeinsamkeit der Stoffströme und Informationsflüsse

Schon die einführenden Erläuterungen zum Recycling und zur Instandhaltung zeigen Gemeinsamkeiten auf, die es gilt, hinsichtlich nutzbarer Synergieeffekte für das recycling-

und instandhaltungsgerechte Konstruieren zu analysieren. Eine erste Gemeinsamkeit ergibt sich naturgemäß aus den übergeordneten Anforderungen an recycling- und instandhaltungsgerechte Produkte, die sich durch die folgenden Punkte zusammenfassen lassen:

- Marktfähigkeit (Nachfrage, Akzeptanz, Einsetzbarkeit usw.),
- Wirtschaftlichkeit (Erlöse, Kosten usw.),
- Konkurrenzfähigkeit (Preise, Funktionalität, Qualität usw.),
- Ressourcen- und Umweltverträglichkeit (Ressourcenverbrauch, Umweltbelastung usw.)
- und Gesetzkonformität (Gesetzgebung, Verordnungen, Normen usw.).

Aus diesen übergeordneten Anforderungen lassen sich bereits die Grundlagen für eine gemeinsame Recycling- und Instandhaltungsstrategie ableiten.

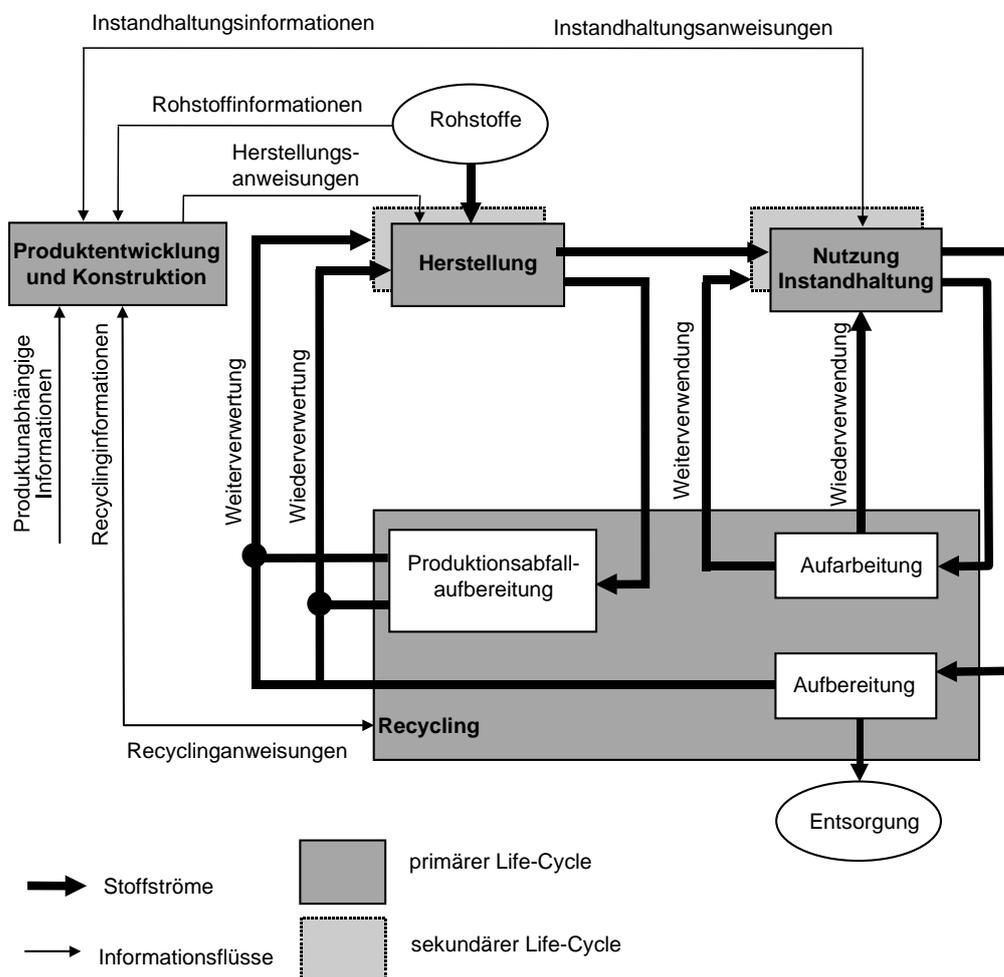


Bild 1. Recycling- und instandhaltungsbezogene Stoffströme und Informationsflüsse

Weitere Gemeinsamkeiten können durch eine Life-Cycle-Betrachtung, differenziert nach Stoffströmen und Informationsflüssen, gemäß Bild 1 erkannt werden. Betrachtet man zunächst die Stoffströme, dann lassen sich trotz zum Teil unterschiedlicher Abläufe und Merkmale von Recycling- und Instandhaltungsprozessen Vergleichbarkeiten sichtbar

machen. So ist die Wieder- oder Weiterverwendung eines Produktes im Rahmen seiner Aufarbeitung von der Wiederherstellung des Sollzustandes eines Produktes nur dadurch zu unterscheiden, dass die Weiterverwendung eines Produktes oder einer Produktkomponente auch in neuen Einsatzgebieten, für die sie ursprünglich nicht vorgesehen waren, erfolgen kann (sekundärer Life-Cycle). Das bedeutet, dass sich insbesondere eine hohe Überschneidung für die Instandsetzung als Bestandteil der Instandhaltung mit der Aufarbeitung als Bestandteil des Recyclings ergibt. Darüber hinaus ist auch die Aufbereitung von Materialien und Stoffen, die aus Recycling- und Instandhaltungsprozessen anfallen, vergleichbar, wenn diese durch Weiter- bzw. Wiederverwertung dem Stoffkreislauf zugeführt werden. Die Analyseergebnisse aus der Vergleichbarkeit von Stoffströmen können genutzt werden, um zu verfeinerten Produkt- und Prozessanforderungen zu gelangen.

Die Analyse der Informationsflüsse zeigt in der Life-Cycle-Betrachtung zunächst die Bidirektionalität der Informationsbedarfe zwischen Produktentwicklung und Konstruktion einerseits und Recycling bzw. Instandhaltung andererseits auf. So benötigt die Produktentwicklung und Konstruktion Feedback-Informationen aus Recycling- und Instandhaltungsprozessen, die sie zum einen zu Wissen für die Neu- und Weiterentwicklung von Produkten verarbeiten und zum anderen zu Feedforward-Informationen für das Recyceln und Instandhalten nachfolgender Produkte aufbereiten kann. Die Gemeinsamkeit der Informationsflüsse besteht nun darin, dass eine hohe Überdeckung der erfassten Feedback-Informationen aus Recycling- und Instandhaltungsprozessen vorzufinden ist und diese zu vergleichbaren Feedforward-Informationen für die Bereiche der Aufarbeitung und Aufbereitung verarbeitet werden können.

Die hier zusammengefassten Vorüberlegungen zur Gemeinsamkeit von Recycling und Instandhaltung verdeutlichen, dass es zweckmäßig ist, Recycling- und Instandhaltungsstrategien ineinander zu überführen, um auf diesem Wege von der industriell etablierten Instandhaltung zu einem ökonomisch und ökologisch wirkungsvollen Recycling von Investitionsgütern zu kommen. Mit dieser Zielorientierung verbindet sich nun die Notwendigkeit, weiterführende gemeinsame Merkmale zu identifizieren, um schließlich zu effektiven Handlungshilfen für das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren zu gelangen.

2.2 Gemeinsamkeit der recycling- und instandhaltungsbestimmenden Produktmerkmale

Die wesentlichen Produktmerkmale, die ein Produkt hinsichtlich seiner Recycling- und Instandhaltungsgerechtheit bestimmen, sind die Bauteilgestalt, die Werkstoffe sowie die verwendete Verbindungstechnik und die Produktstruktur [6, 7]. Diese Merkmale, die sich als Gestaltungsfelder in der Produktentwicklung und Konstruktion darstellen, sind stark abhängig von den spezifischen Gegebenheiten der betrachteten Produkte. Demzufolge dienen sie hier zur Differenzierung und sind im konkreten Anwendungsfall anzupassen und gegebenenfalls zu erweitern. Darüber hinaus stehen sie, wie Bild 2 zeigt, in einer starken Wechselbeziehung zueinander und in Abhängigkeit zu weiteren Produktmerkmalen.

Unter dem Produktmerkmal *Bauteilgestalt* sind die geometrische Form der Bauteile sowie Formelemente der Bauteile wie Aussparungen und Bohrungen zu verstehen. Weiterhin wird die Bauteilgestalt durch die Größenordnung der Bauteilabmessungen sowie durch die Bauweise (Integral-, Differential-, Verbund- und Modulbauweise) maßgeblich bestimmt.

Unter dem Produktmerkmal *Werkstoffe* sind die Eigenschaften, Kombinationen und Klassifizierungen der eingesetzten Materialien zu verstehen. Bei der Wahl der Werkstoffe sind dem Konstrukteur hinsichtlich der Recycling- und Instandhaltungsfähigkeit oftmals nur

geringe Spielräume gegeben. Meistens sind direkte Vorgaben durch die an das Bauteil bzw. Produkt gestellten Anforderungen maßgeblich, wie z.B. die statische und dynamische Belastbarkeit, die Temperaturbeständigkeit, die Formgebungs-, Bearbeitungs- und Fügeverfahren, und nicht zuletzt die Materialkosten.

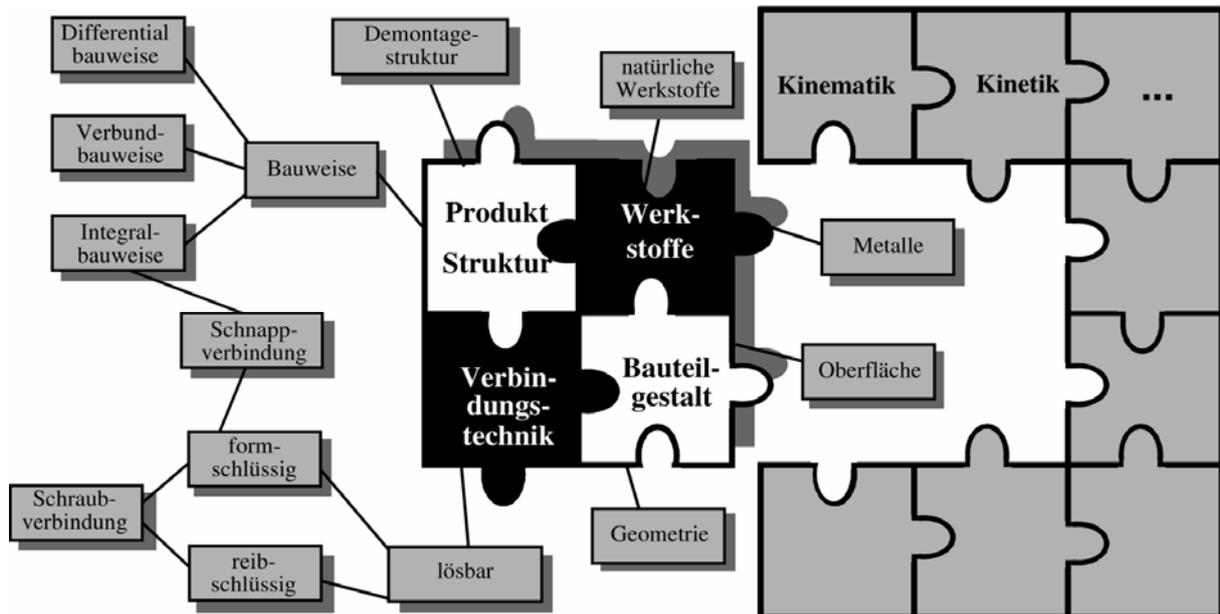


Bild 2. Zusammenhang der recycling- und instandhaltungsbestimmenden Produktmerkmale

Die *Verbindungstechnik* als Produktparameter hat innerhalb der recycling- und instandhaltungsgerechten Konstruktion einen zentralen Stellenwert, da das Lösen von Verbindungen im Mittelpunkt der Demontage von Produkten, einem der Kernprozesse des Recyclens und Instandhaltens, steht. Sie fasst die Arten, Eigenschaften und die Ausgestaltung von Verbindungselementen zusammen. Verbindungselemente als Untergruppe der allgemein anwendbaren Maschinenelemente können - wie bekannt - in lösbare und nicht lösbare, in feste und bewegliche oder in stoff-, form- und kraftschlüssige unterteilt werden. Entscheidend ist die Lösbarkeit der Verbindung als solche sowie der Aufwand für das Lösen.

Die *Produktstruktur* eines Produktes gibt dessen Gliederung in Baugruppen und Bauteilen an. Sie enthält Informationen über die Art des Zusammenwirkens von Bauteilen sowie über Füge- und Montagestellen, ohne aber die Bauteilgestalt exakt festzulegen. Man unterscheidet hierarchische, teilhierarchische und nichthierarchische Produktstrukturen, die insbesondere für die Analyse von Arbeitsfolgen der De- und Remontage nützlich sind.

Diese vier charakterisierten Produktmerkmale können als Ordnungskriterien für die Erarbeitung und Zuordnung von Handlungshilfen sowohl für das recycling- als auch das instandhaltungsgerechte Konstruieren herangezogen werden.

2.3 Gemeinsamkeit der recycling- und instandhaltungsbezogenen Produktgerechtheiten

Das Verhalten und die Eigenschaften eines Produktes sind dann als optimal anzusehen, wenn alle geforderten Gerechtheiten für den Life-Cycle in einem optimalen Kompromiss zusammengeführt sind. Der Kompromiss muss dabei zugelassen werden, weil häufig widerstrebende Anforderungen an ein Produkt gestellt werden. Werden nun

ausschnittsweise Recycling und Instandhaltung betrachtet, so lassen sich spezifische Gerechtheiten aus den Arbeitsfolgen von Recycling- und Instandhaltungsprozessen herleiten. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Arbeitsfolgen bei der Aufarbeitung im Rahmen des Recyclings und bei der Instandsetzung im Rahmen der Instandhaltung von Interesse. Die Arbeitsfolge bei der Aufarbeitung sind Demontage, Reinigung, Prüfung/Sortierung, Bauteilaufarbeitung und Remontage. Bei der Instandsetzung sind es die Bestimmung der Fehlerursache, die Demontage, der Austausch oder die Ausbesserung und die Remontage. Aus den genannten Arbeitsfolgen ergeben sich Gerechtheiten, die bei genauerer Betrachtung eine weitgehende Vergleichbarkeit gemäß Bild 3 erkennen lassen.

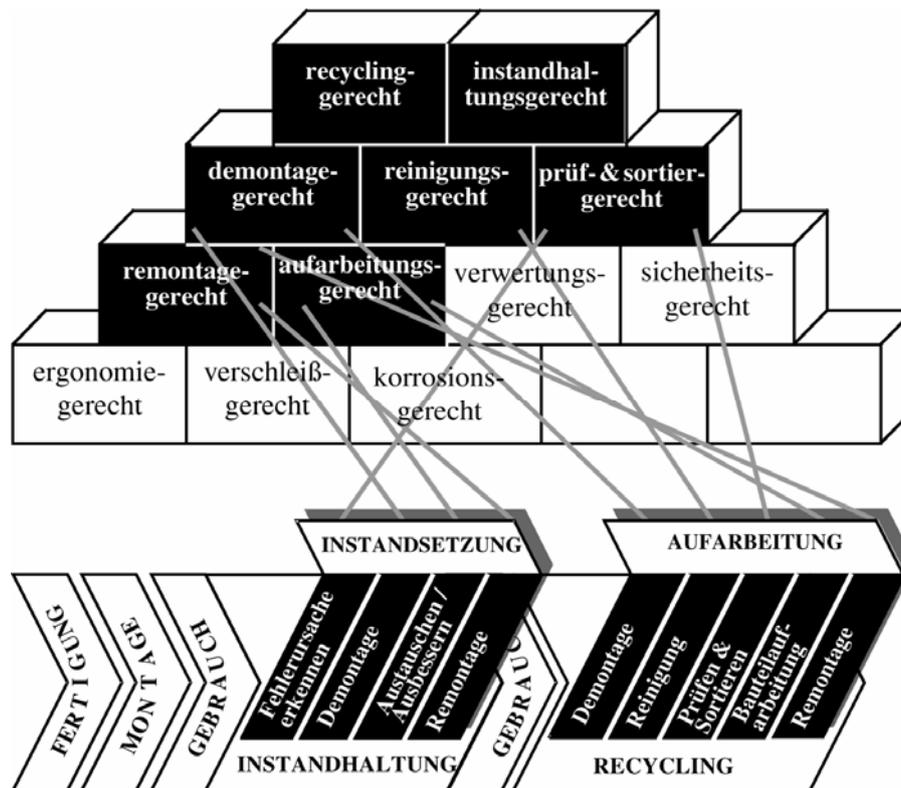


Bild 3. Zusammenhang zwischen Arbeitsfolgen der Prozesse und daraus abgeleiteten Produktgerechtheiten

Ergänzend zu diesen aus den Arbeitsfolgen abgeleiteten, sind weitere gemeinsame Gerechtheiten zu verfolgen, wie z.B. die Korrosions- oder Verschleißgerechtheit. Bei beiden Gerechtheiten steht der Neuteileaufwand als wichtigstes Kriterium für die Aufarbeitung und Instandsetzung im Vordergrund. Eine verschleißgerechte Konstruktion beschränkt den unvermeidbaren Verschleiß auf leicht austauschbare Bauteile und wird durch das Prinzip der Aufgabenteilung in der frühen Phase des Entwerfens durch die Festlegung der Bauweise berücksichtigt. Mit der korrosionsgerechten Konstruktion lässt sich das Ziel der Wiederverwendung von Bauteilen und Komponenten durch entsprechende werkstoffseitige und gestalterische Maßnahmen verfolgen.

Die gefundenen gemeinsamen Gerechtheiten für Recycling und Instandhaltung können ebenfalls als Ordnungskriterien für die Erstellung und Anwendung von Handlungshilfen herangezogen werden.

Die Anforderungen der Produktgerechtheiten stehen in Wechselbeziehung zu den zuvor genannten Produktmerkmalen und können unter Nutzung von Synergieeffekten gleichermaßen für das Recycling und für die Instandhaltung herangezogen werden. So kann

eine demontagegerechte Verbindungstechnik sowohl die schnelle Instandsetzung als auch die ökonomisch sinnvolle Aufarbeitung eines Produktes unterstützen. Eine prüfgerechte Bauteilgestalt kann der Bestimmung von vielen Ursachen bei der Instandsetzung wie auch der Zustandsbeurteilung von Bauteilen oder Baugruppen bei der Aufarbeitung dienen.

3 Methodischer Rahmen für das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren

Die Effektivität und Effizienz von Konstruktionsprozessen hängen wie bekannt maßgeblich von geordneten und systematischen Vorgehensweisen sowie von verfügbaren Methoden und Wissensbasen ab. Ordnet man nun das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren als eine Facette in die ganzheitliche Betrachtung von Produktentwicklungsprozessen ein, so ergibt sich die Notwendigkeit, hierfür sowohl spezifische Aufgaben und Tätigkeitsfelder für das systematische Vorgehen zu benennen als auch im Kontext nutzbare Methoden und Wissensbasen bereitzustellen. Die im Kontext des recycling- und instandhaltungsgerechten Konstruierens nutzbaren Methoden und Wissensbasen sollen im Rahmen der weiteren Betrachtungen definitionsgemäß als Handlungshilfen verstanden werden.

3.1 Spezifische Aufgaben und Tätigkeitsfelder im konstruktionsmethodischen Umfeld

Die Festlegung von Aufgaben und Tätigkeitsfeldern erfolgt optimalerweise im konstruktionsmethodischen Umfeld des Gesamtzusammenhangs von systematischen Vorgehensweisen und ganzheitlichen Produkthanforderungen. Demgemäß führten grundlegende Untersuchungen zum recyclinggerechten Konstruieren zu generellen Erweiterungen konstruktionsmethodischer Vorgehensweisen und zur Benennung und Abgrenzung spezifischer Aufgaben und Tätigkeitsfelder [7/8/9]. Ordnet man diese den Konstruktionsphasen *Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten* sowie den Hauptarbeitsschritten der Konstruktionsmethodik [10/11] zu, so erhält man eine prozessorientierte Aufgabenliste, wie sie in Bild 4 dargestellt ist.

Aufgrund der bereits dargestellten Gemeinsamkeiten zwischen Recycling und Instandhaltung lassen sich daraus die spezifischen Aufgaben und Tätigkeitsfelder für das instandhaltungsgerechte Konstruieren in vergleichbarer Form herleiten. Zweckmäßigerweise werden die Aufgaben so formuliert, dass sie einen unmittelbaren Beitrag zu den angestrebten Ergebnissen der jeweiligen Konstruktionsphase liefern können.

Hiermit sind Beiträge zur Anforderungsliste zum Funktions-, Wirk- und Bauzusammenhang und im Rahmen der Erstellung von Unterlagen zur Produktdokumentation gemeint. Die aus den Aufgaben im konkreten Fall abzuleitenden Arbeitsinhalte werden insbesondere durch die in der Produktplanung festgelegten Recycling- bzw. Instandhaltungsstrategien bestimmt. So muss bei einer angestrebten Wiederverwendung des Altproduktes (Produktrecycling) im Entwurfsprozess auf eine zerstörungs- und beschädigungsfreie Demontage geachtet werden. Soll hingegen das Altprodukt verwertet werden (Materialrecycling), dann kann der Konstrukteur im Hinblick auf die zerstörende oder ganz entfallende Demontage alternative Verbindungstechniken und Bauweisen gestalten. Das bedeutet also, dass in Abhängigkeit der gewählten Recyclingstrategie die Produktmerkmale, wie die zu entwerfende Bauteilgestalt, die verwendbaren Werkstoffe, die Auswahl der Verbindungstechnik und die Produktstruktur, durch vorweggenommene Entscheidungen prinzipiell festgelegt werden. Nicht anders verhält es sich bei der frühzeitigen Festlegung von Instandhaltungsstrategien.

Auch sie bestimmen die konkrete Ausgestaltung von Arbeitsinhalten im Rahmen der Aufgaben zum instandhaltungsgerechten Konstruieren [12/13].

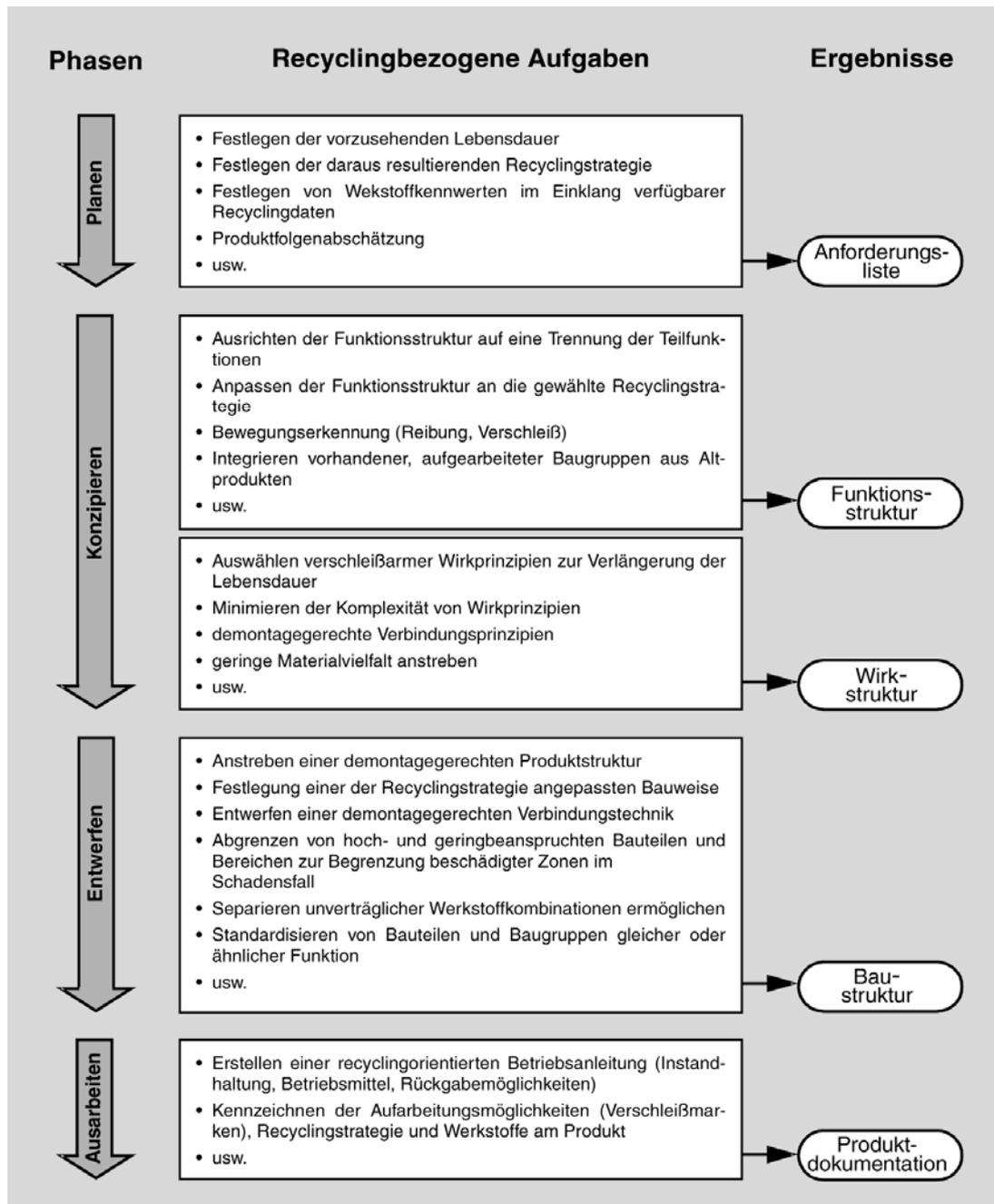


Bild 4. Aufgaben und Tätigkeitsfelder für das recyclinggerechte Konstruieren im methodischen Konstruktionsprozess

3.2 Methodischer Such- und Arbeitsraum für Handlungshilfen

Die Integration von Handlungshilfen in den Konstruktionsprozess ist grundsätzlich abhängig von der individuellen Arbeitsweise des Konstrukteurs. Das Ziel muss es sein, den Konstrukteur durch gezielte Bereitstellung von Methoden und Wissensbasen in seiner Arbeit zu unterstützen. Aufgrund vielfältiger Analysen von Konstruktionsprozessen hat sich gezeigt,

dass eine zielgerechte Bereitstellung dann gegeben ist, wenn sie bedarfsorientiert erfolgt und die individuellen Arbeitsweisen des Konstrukteurs nicht verfremdet. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wurde ein sogenannter Such- und Arbeitsraum für Handlungshilfen entwickelt [14].

Dem entwickelten Such- und Arbeitsraum liegt die Überlegung zugrunde, dass die Erstellung und Anwendung von Handlungshilfen für das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren im Wesentlichen durch drei Einflussgrößen gekennzeichnet wird. Hierbei handelt es sich einerseits um die in Kapitel 2.2 erläuterten recycling- und instandhaltungsbestimmenden Produktmerkmale sowie um die in Kapitel 2.3 behandelten recycling- und instandhaltungsbezogenen Produktgerechtheiten und andererseits um den zuvor in Kapitel 3.1 analysierten Konstruktionsprozess. Zwischen diesen Einflussgrößen bestehen, wie ausgeführt, vielfältige Interdependenzen, die bei der Erstellung und Anwendung von Handlungshilfen zu berücksichtigen sind. Um diese Interdependenzen anschaulich werden zu lassen, wird ein durch die drei Einflussgrößen begrenzter, dreidimensionaler Such- und Arbeitsraum, gemäß Bild 5, aufgespannt.

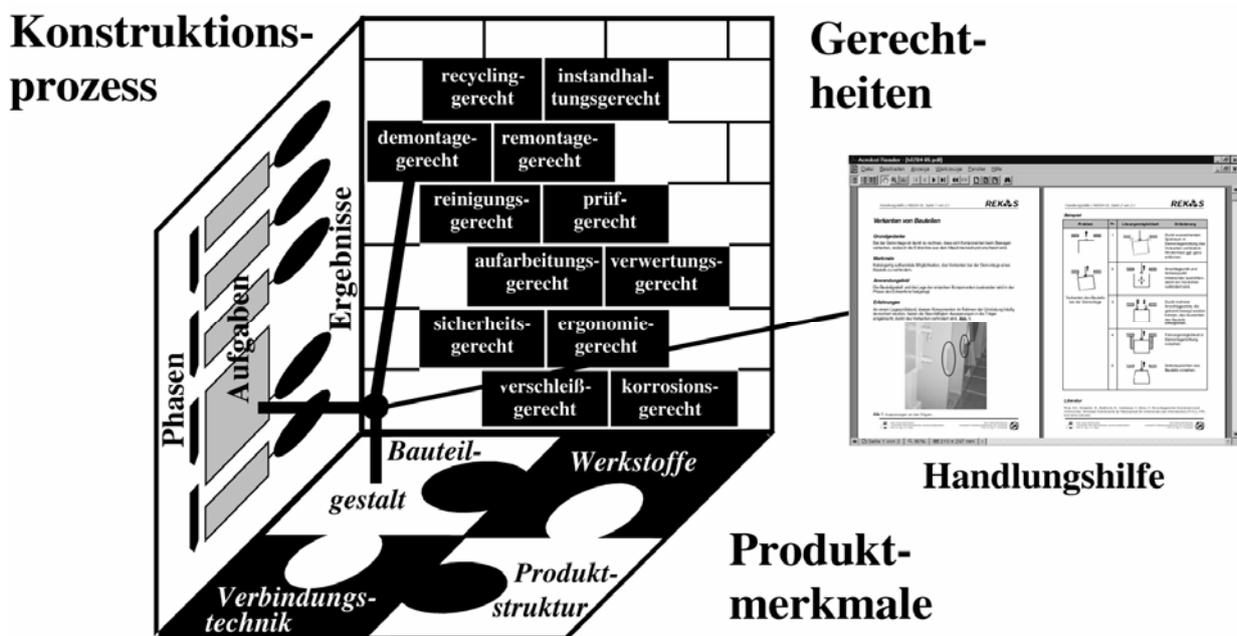


Bild 5. Methodischer Such- und Arbeitsraum für die Einordnung von Handlungshilfen

Die Strukturierung des Such- und Arbeitsraumes und damit die systematische Einordnung der Handlungshilfen ergibt sich aus den hergeleiteten Ordnungskriterien der jeweiligen Einflussgröße. Für die Einflussgröße *Produktmerkmale* sind dies Bauteilgestalt, Werkstoff, Verbindungstechnik und Produktstruktur, für die Einflussgröße der *Produktgerechtheiten* sind es die der Recycling- und Instandhaltungsgerechtheit gemeinsam zugeordneten spezifischen Gerechtheiten, wie demontagegerecht, reinigungsgerecht usw., und für die Einflussgröße *Konstruktionsprozess* sind es die Ordnungskriterien Konstruktionsphasen, -aufgaben und -ergebnisse. Bild 5 zeigt beispielhaft die systematische Einordnung einer Handlungshilfe („Verkanten von Bauteilen“), orientiert an hierfür zutreffenden Ordnungskriterien.

Verwendet man diesen Such- und Arbeitsraum als methodische Leitlinie für die Erstellung und Anwendung von Handlungshilfen, so ergibt sich der Nutzen wie folgt:

- Er bildet eine systematische Struktur für alle denkbaren Handlungshilfen zum recycling- und instandhaltungsgerechten Konstruieren.
- Er eröffnet Entwicklern von Handlungshilfen die Möglichkeit, bereits existierende Handlungshilfen systematisch einzuordnen sowie, orientiert am Konstruktionsprozess, neue Handlungshilfen zu generieren.
- Er deckt Defizite an Handlungshilfen durch schwach besetzte Bereiche im Such- und Arbeitsraum auf.
- Er bildet die Grundlage für die Strukturierung und Klassifizierung von auf Rechnern verwalteten Handlungshilfen.

Der hier entwickelte methodische Such- und Arbeitsraum kann durch zusätzliche charakterisierende Produktmerkmale und anzustrebende Produktgerechtheiten zu einem allgemein nutzbaren erweitert werden.

4 Verfügbare Handlungshilfen für das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren

Ausgehend vom dargestellten methodischen Rahmen zum recycling- und instandhaltungsgerechten Konstruieren und unter Beachtung allgemeingültiger Anforderungen zur Repräsentation, Strukturierung und Bereitstellung von Wissen und Informationen wurden im Forschungsvorhaben „Recyclinggerechtes Konstruieren und Arbeitsschutz (REKAS)“ [6] Handlungshilfen für das recycling- und instandhaltungsgerechte Konstruieren in Verbindung mit Gesichtspunkten des Arbeitsschutzes und der Sicherheitstechnik erarbeitet. Als Informationsquellen für die Erstellung von Handlungshilfen standen zur Verfügung:

- Der veröffentlichte Stand der Technik und Forschung (Literatur),
- durchgeführte Analyse von Vorgehens- und Handlungsweisen in der Konstruktion (Konstruktorsbefragung),
- durchgeführte Aufarbeitungsanalysen (Tauschmotorenfertigung, Gebrauchtmascinenaufarbeitung),
- durchgeführte Analyse der De- und Remontage einer Referenzkomponente (Textilmaschinenbaugruppe).

Um den Anforderungen zur Strukturierung des inhaltlichen Aufbaus einer jeden Handlungshilfe nachzukommen, wurde eine für alle Handlungshilfen gleichermaßen gültige Gliederung gemäß Bild 6 zugrunde gelegt. Die dabei eingeführten Gliederungsbegriffe leiten den Ersteller von Handlungshilfen an, präzise, widerspruchsfreie und vollständige Inhalte abzufassen und ermöglichen dem Anwender den schnellen und selektiven Zugriff auf die erstellten Inhalte.

Gliederung	Inhalt
Grundgedanke	Beschreibt die zugrundeliegende Methode oder die grundlegende Vorgehensweise der Handlungshilfe
Merkmale	verdeutlichen den Nutzen, beschreiben Vor- und ggf. Nachteile der Handlungshilfe, erläutern ihre Funktionsweise, präzisieren einzelne, in der Handlungshilfe benutzte Begriffe

Vorgehen	weist an, welche Schritte zur Lösungsfindung abgearbeitet werden sollen
Anwendungsfeld	informiert über den Anwendungsbereich, greift dabei die Lage der Handlungshilfe im Such- und Arbeitsraum auf
Erfahrungen	geben, soweit vorhanden, in der Anwendung gemachte Erfahrungen mit der Handlungshilfe wieder
Beispiel	verdeutlicht oder konkretisiert den Inhalt oder das Vorgehen einer Handlungshilfe
Literatur	eröffnet Möglichkeit einer weiteren Vertiefung oder bezeichnet eine Quelle, die die nur übersichtlich beschriebene Handlungshilfe vollständig enthält

Bild 6. Inhaltliche Strukturierung der Handlungshilfen

Die nach diesem Muster erstellten 92 Handlungshilfen umfassen einen inhaltlichen Gesamtumfang von 240 DIN-A4-Seiten. In Bild 7 wird das Fallbeispiel einer zweiseitigen Handlungshilfe mit dem Titel „Verkanten von Bauteilen“, geeignet für die Nutzung im Entwurfsprozess, mit Blick auf die Demontagegerechtigkeit gezeigt.

Die Klassifizierung der Handlungshilfen orientiert sich übergeordnet an dem per Definition festgelegten Gesamtumfang, differenziert nach Methoden und Wissensbasen sowie nachgeordnet an den im Such- und Arbeitsraum festgelegten Einflussgrößen und Ordnungskriterien. Die Klasse der Methoden ist dabei untergliedert in:

- Produktentwicklungsmethoden (14 erstellte Handlungshilfen),
 - Lösungsmethoden (13) und
 - Beurteilungsmethoden (18),
- und die Wissensbasen in:
- Konstruktionskataloge (8),
 - Checklisten (5),
 - Konstruktionsregeln und -richtlinien (22) und
 - Fallbeispiele (12).

Als Produktentwicklungsmethoden stehen Vorgehenspläne sowie Methodenbausteine und ihre Hilfsmittel zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um Methodenbausteine, die vorwiegend der Konstruktionsmethodik zuzuordnen sind, wie Anforderungsliste erstellen, Wirk- und Lösungsprinzipien suchen usw. Zu weiteren genannten Methoden werden grundlegende Hinweise und Literaturverweise angegeben. Die aufgenommenen Lösungs- und Beurteilungsmethoden sind in ihrem grundlegenden Aufbau erläutert und enthalten entsprechende Hinweise für eine zielgerichtete Anwendung.

Im Rahmen der Erstellung von Konstruktionskatalogen wurde insbesondere den Anforderungen nach schnellem und selektivem Zugriff Rechnung getragen. Der Zugriff auf Einzelinformationen wird durch ein Katalogsystem unterstützt, das einerseits die sachbezogenen Einzelkataloge und andererseits zugriffsunterstützende Kataloge wie Inhaltskatalog, Sachregister-/Abkürzungskatalog und Literaturkatalog enthält. Die erstellten Checklisten sind über Merkmallisten strukturiert und inhaltlich an den Konstruktionsphasen ausgerichtet. Sie enthalten insbesondere Anleitungen und Hinweise für die Lösungssuche und vor allem Kriterien für das Prüfen und Bewerten von erzeugten Lösungsalternativen. Die aus der Literatur zusammengetragenen sowie aus den genannten Analysen gewonnenen Gestaltungsregeln und -richtlinien sind ebenfalls nach den aufgestellten Ordnungskriterien strukturiert. Aufgrund der Interdependenzen zwischen Produktmerkmalen und Gerechtheiten

lassen sich durch diese Strukturierung Redundanzen nicht vermeiden. Die erarbeiteten Fallbeispiele wurden vor allem aus den Praxisanalysen von Recycling- und Instandhaltungsprozessen gewonnen. Hierbei wurde ausgiebig von der Möglichkeit visualisierter Darstellungen Gebrauch gemacht, wie das bereits erwähnte Fallbeispiel „Verkanten von Bauteilen“ in Bild 7 zeigt.

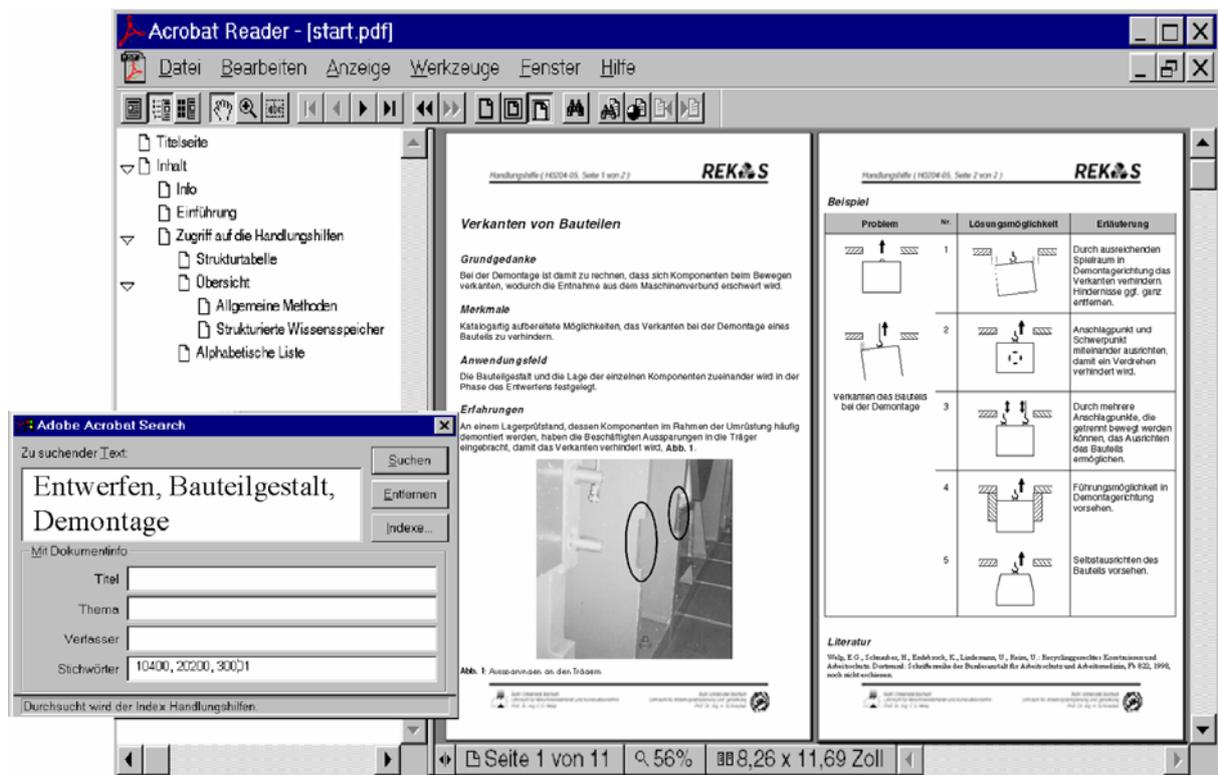


Bild 7. Rechnerunterstützte Anwendung von Handlungshilfen

Die erstellten Handlungshilfen sind auf einer CD-ROM als „Acrobat Reader“-Anwendung verfügbar. Alle Handlungshilfen sind auf Basis der erläuterten Klassifizierung und unter Verwendung eines Nummerungssystems kodiert gespeichert. Der Zugriff auf die Handlungshilfen kann in unterschiedlicher Form, nämlich über Ordnungskriterien des Such- und Arbeitsraumes, über Volltextsuche, über einen alphabetischen Index oder über Hypertext-Verknüpfungen erfolgen. Bild 7 zeigt für das bereits erwähnte Fallbeispiel im Zusammenhang mit der Benutzeroberfläche des „Acrobat Readers“ und der Suchmaske mit den Suchbegriffen Entwerfen, Bauteilgestalt, Demontage eine konkrete Anwendung.

Mit der gewählten Form der Implementierung in ein neutrales Hardware- und Software-Umfeld ergeben sich folgende Vorteile:

- Plattformunabhängigkeit des „Acrobat Readers“ (DOS, Windows, Macintosh, UNIX),
- der Browser kann kostenfrei aus dem Internet geladen werden,
- die Anwendung ist inter- und intranetfähig,
- Verwendung neutraler Software für die Erstellung von Handlungshilfen (Textverarbeitung, Graphik, Tabellenkalkulation usw.) und
- mit dem Software-Paket „Acrobat Exchange“ kann die Sammlung der Handlungshilfen beliebig erweitert werden.

Vor diesem Hintergrund der allgemeinen Anwendbarkeit wurde bisher auf eine Integration in CAD-Systeme verzichtet.

5 Ausblick

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens zum recycling- und instandhaltungsgerechten Konstruieren vor. Neben dem darin entwickelten Konzept zur Strukturierung von Handlungshilfen wird eine umfangreiche Sammlung von Handlungshilfen verfügbar gemacht. Für die Anwender dieses Systems besteht die Möglichkeit, die Sammlung mit unternehmens- und produktspezifischen Handlungshilfen zu komplettieren. Der entwickelte Such- und Arbeitsraum lässt sich für die Einordnung weiterer Handlungshilfen nutzen, die beispielsweise das fertigungsgerechte oder montagegerechte Konstruieren fördern. Im Sinne des ganzheitlichen Konstruierens lassen sich auf diese Weise Synergien zwischen sich unterstützenden Gerechtheiten nutzen.

Die verfügbaren Handlungshilfen stellen ein Hilfsmittel auf dem Weg zu einem höherwertigen Recycling und zu einer effektiveren Instandhaltung dar. Entscheidend für den Einsatz dieser Konstruktionsunterstützung ist es allerdings, dass die Recycling- und Instandhaltungsgerechtheit von Produkten zu Bestandteilen der Entwicklungsstrategie in Unternehmen der Investitionsgüterindustrie werden.

6 Literatur:

- [1] VDI 2243: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. Grundlagen und Gestaltungsregeln, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [2] Kiesgen, G.: Entwicklung von ökologisch und ökonomisch effizienten Recycling- und Demontagestrategien für komplexe technische Gebrauchsgüter. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1996.
- [3] Steinhilper, R., Hudelmaier, U.: Erfolgreiches Produktrecycling zur erneuten Verwendung oder Verwertung. Eschborn: RKW, 1993.
- [4] DIN 31051: Instandhaltung - Begriffe und Maßnahmen. Berlin: Beuth, 1985.
- [5] Schulte, W.: Einführungsschritte für ein Wartungs- und Inspektionssystem. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1994.
- [6] Welp, E.G.; Schnauber, H.; Endebrock, K.; Lindemann, U.; Reim O.: Recyclinggerechtes Konstruieren und Arbeitsschutz. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Fb 822. Dortmund 1998.
- [7] Wende, A.: Integration der recyclingorientierten Produktgestaltung in den methodischen Konstruktionsprozeß. Dissertation, TU Berlin, 1994.
- [8] Renken, M.: Nutzung recyclingorientierter Bewertungskriterien während des Konstruierens. Dissertation. TU Braunschweig, 1996.
- [9] Suhr, M.: Wissensbasierte Unterstützung recyclingorientierter Produktgestaltung. Berlin: Technische Universität, Dissertation, 1996.
- [10] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. 4. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1997.
- [11] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [12] van der Mooren, A. L.: Instandhaltungsgerechtes Konstruieren und Projektieren. Berlin: Springer, 1991.

- [13] VDI-Richtlinie 2246: Konstruieren instandhaltungsgerechter technischer Erzeugnisse - Anforderungskatalog.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [14] Welp, E.G.; Endebrock, K.; Lindemann, U.; Gieß, M.: Methodical scope for design processes for recycling and maintenance.
Proc. of the 4th International Seminar on Life Cycle Engineering, 26-27 June 1997, Berlin. London u.a.: Chapman & Hall, 1997.

Prof. Dr.-Ing. E. G. Welp
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
Institut für Konstruktionstechnik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
Gebäude IB 2/152
44801 Bochum, Germany
Tel.: 0234 / 32-22636
Fax: 0234 / 32-14159
e-mail: welp@lmk.ruhr-uni-bochum.de
Internet: <http://www.ruhr-uni-bochum.de/lmk/>

Dipl.-Ing. U. Lindemann
Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
Institut für Konstruktionstechnik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
Gebäude IB 2/146
44801 Bochum, Germany
Tel.: 0234 / 32-25831
Fax: 0234 / 21-14159
e-mail: linde@lmk.ruhr-uni-bochum.de
Internet: <http://www.ruhr-uni-bochum.de/lmk/>