

## Design for Environment (DfE) – Ökobenchnmarking zur Untersuchung des Produktlebenszyklus

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tibor Bercsey  
Dipl.-Ing. Peter Makk*

*TU Budapest, Institut für Maschinenkonstruktionslehre*

### Kurzfassung

Im folgender Beitrag wird der Rolle der DfX-Techniken beim Produktentwicklungsprozess erklärt. Die DfX-Techniken werden allgemein untersucht und dabei die wichtigsten Anwendungsgebiete erwähnt. Es wird die DfE-Methode genau untersucht und deren Funktionsweise als Software erklärt. Am Ende werden die Schlußfolgerungen gezogen.

### 1 Einleitung

Die für ein Produkt aufgestellten und auf dessen ganzen Lebenszyklus sich auswirkenden und gleichzeitig zu erfüllenden Bedingungen und Erwartungen sowie der Bedarf nach Neuigkeit, Sicherheit, Qualität und Kostenoptimierung stellen die Ingenieure vor eine sehr komplizierte und immer schwieriger werdende Aufgabe. Die Anwendung neuartiger, integrierter Produktentwicklungsmethoden erfordern die Parallelisierung der Prozesse und die frühestmögliche Bereitstellung des produktspezifischen und allgemein nötigen Konstruktionswissens.

Für die Untersuchung und Unterstützung der Produktentwicklungsprozess existieren heute mehrere Methoden (**Bild 1.1.**). Bei der Anwendung dieser Methoden sind die erreichbaren Ergebnisse und Wirkungsgrade sehr unterschieden.

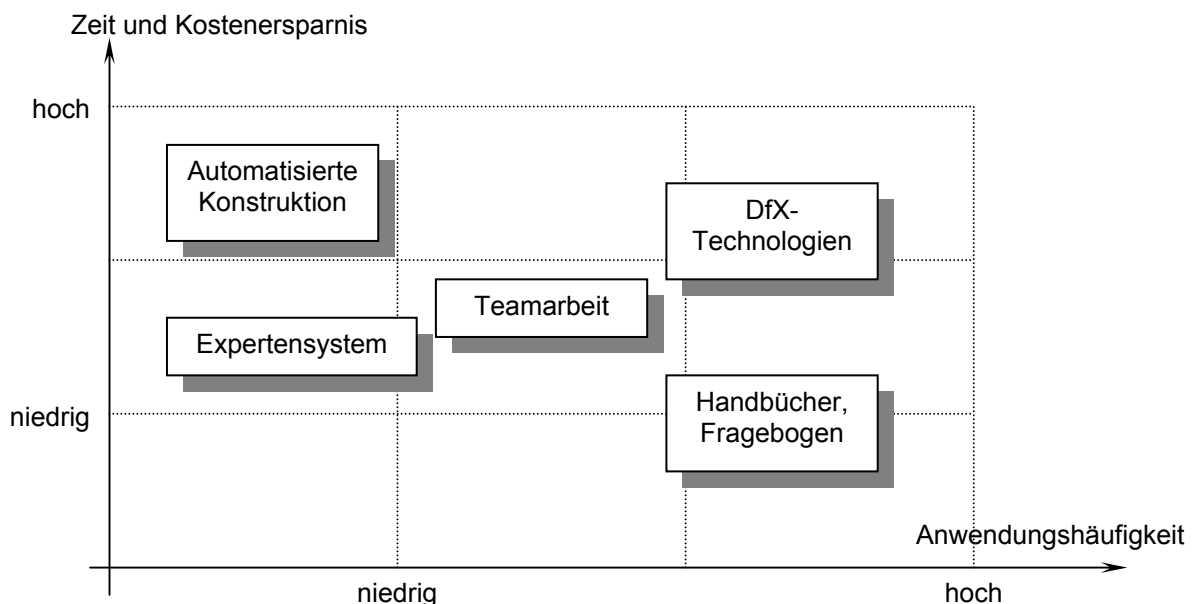


Bild 1.1. Integrierte Produktentwicklungsmethoden

Die Handbücher und Fragebogen geben nur allgemeine und unstrukturierte Informationen, wobei deren Anwendung und die Sicherung des neuesten Standes sehr zeitraubend ist. Die automatisierten und intelligenten Konstruktions-Systeme sind nur begrenzt einsetzbar, sie bieten nicht die von Konstrukteur erwarteten praktische Hilfe. Expertensysteme können meistens nur bei speziellen Problemen eingesetzt werden. Die Konstruktionsregeln und Entwicklungsinformationen müssen dafür speziell aufgearbeitet werden, was auch mit den neuen Werkzeugen der Informatik nur sehr mühsam vorangeht. Neben der Teamarbeit, welche zeitraubend und organisatorisch sehr aufwendig ist, bieten die DfX-Methoden (Design for ...) die größtmögliche Unterstützung des Konstruktionsprozesses [1]. Das Problem der DfX-Methoden ist, dass die während der Phasen der Konstruktion auftretenden Gegensätzen nicht aufgelöst werden können.

## 2 DfX Methoden

Für den Konstrukteur ist es von großer Priorität, dass das Fachwissen für die Auswertung und den Vergleich der Produkte in jeder Konstruktionsphase umfassend bereitsteht. Dieses Fachwissen wird von der DfX-Techniken bereitgestellt (**Bild 2.1.**).

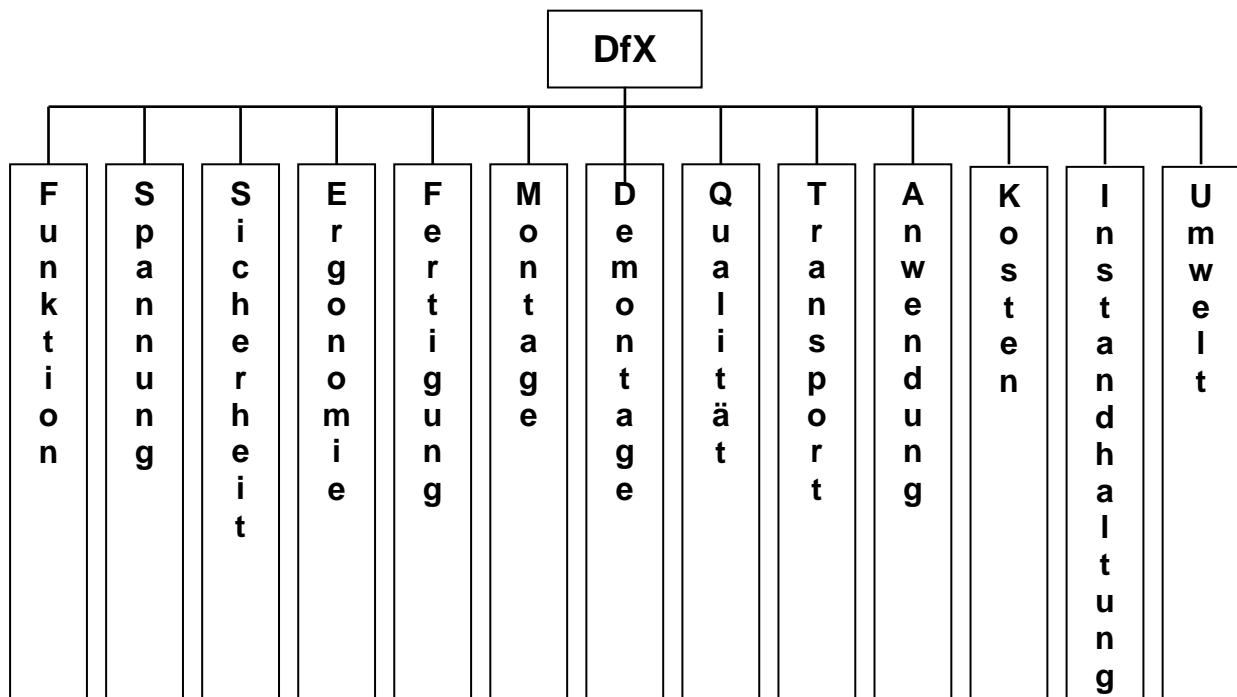


Bild 2.1. Die von DfX Methoden abgedeckte Fachgebiete

Die DfX-Techniken ermöglichen dem Konstrukteur in jeder Phase des Konstruktionsprozesses die Kontrolle der Kosten, der Qualität und andere Eigenschaften des Produkts. Die DfX-Methoden, die das Fachwissen des Konstrukteurs repräsentieren, beschränkten sich am Anfang nur auf die Funktionalitäts- und Fertigungsaspekte des Produktes [2]. Der berühmteste Vertreter dieser Methoden ist der DFMA (Design for Manufacturing and Assembly). Neben dieser Methoden werden immer häufiger andere neuere DfX-Techniken angewendet, wie die DfC-Technik (Design for Cost) [3], welche eine kontinuierliche Kostenabschätzung ermöglicht, die DfS-Technik (Design for Service), welche der Auswertung der Produkt-Instandhaltung ermöglicht, und die DfE-Methode (Design for Environment), bei der die Umweltaspekte des Produktes untersucht werden.

### 3 Der DfE-Technik

Die immer strenger werdenden Umweltrichtlinien, Produktlebenszyklus-Vorschriften (z.B. ISO 14000, 14040, 14042, 14060 usw.) und gesetzlichen Regelungen haben auf die Wichtigkeit des umweltgerechten Konstruierens aufmerksam gemacht. Diese Entwicklung wurde auch durch die in den EU-Staaten verabschiedeten neuen Umweltgesetze beschleunigt. Diese schreiben vor, dass die Produzenten der Produkte am Ende des Lebenszyklus die eigenen Produkte umweltgerecht entsorgen müssen und die Produkte immer mit Materialkennzeichen für die Wiederverwertung versehen werden müssen.

Es existieren mehrere Methoden zur Unterstützung des umweltgerechten Konstruierens, wie z.B. der Recycling-Graph, welche von BMW, Volkswagen und Mercedes Benz entwickelt wurde, und Informationsdatenbanken wie z.B. COMMET. Diese haben aber den Nachteil, dass einige Umweltaspekte überbewertet oder nicht mit betrachtet werden. Der von Boothroyd Dewhurst Inc. und TNO Institute of Industrial Technology (TU Delft) entwickelte DfE-Methode [4] ist die erste Methode, welche den ganzen Produktlebenszyklus überwacht und in Hinsicht auf seine Umweltaspekte auswertet.

Die Produktherstellung hat bekanntlich auch wichtige Nebenwirkungen, wie die Umweltauswirkungen der Produktion, Distribution und der Konstruktionsmaterialien. Diese Nebenwirkungen werden von der Entnahme von Rohstoffe und Energie aus den Ressourcen im Umwelt und der Ausstoß von Schadstoffen und derb Entstehung von Abfall verursacht.

Dafür hat die DfE-Methode drei wichtige Ziele:

- den Aufwand der Materialien und Energie wirkungsvoll und funktionell zu konzipieren,
- der Produktlebenszyklus möglichst lang zu gestalten (Anwendung von Recyclingmaterialien, einfache Demontage und Instandhaltung),
- die Begrenzung des Schadstoffausstoßes und möglichst wenig festen Abfalls.

Um diese Ziele verwirklichen zu können, wurde der DfE-Struktur gemäß **Bild 3.1.** aufgebaut.

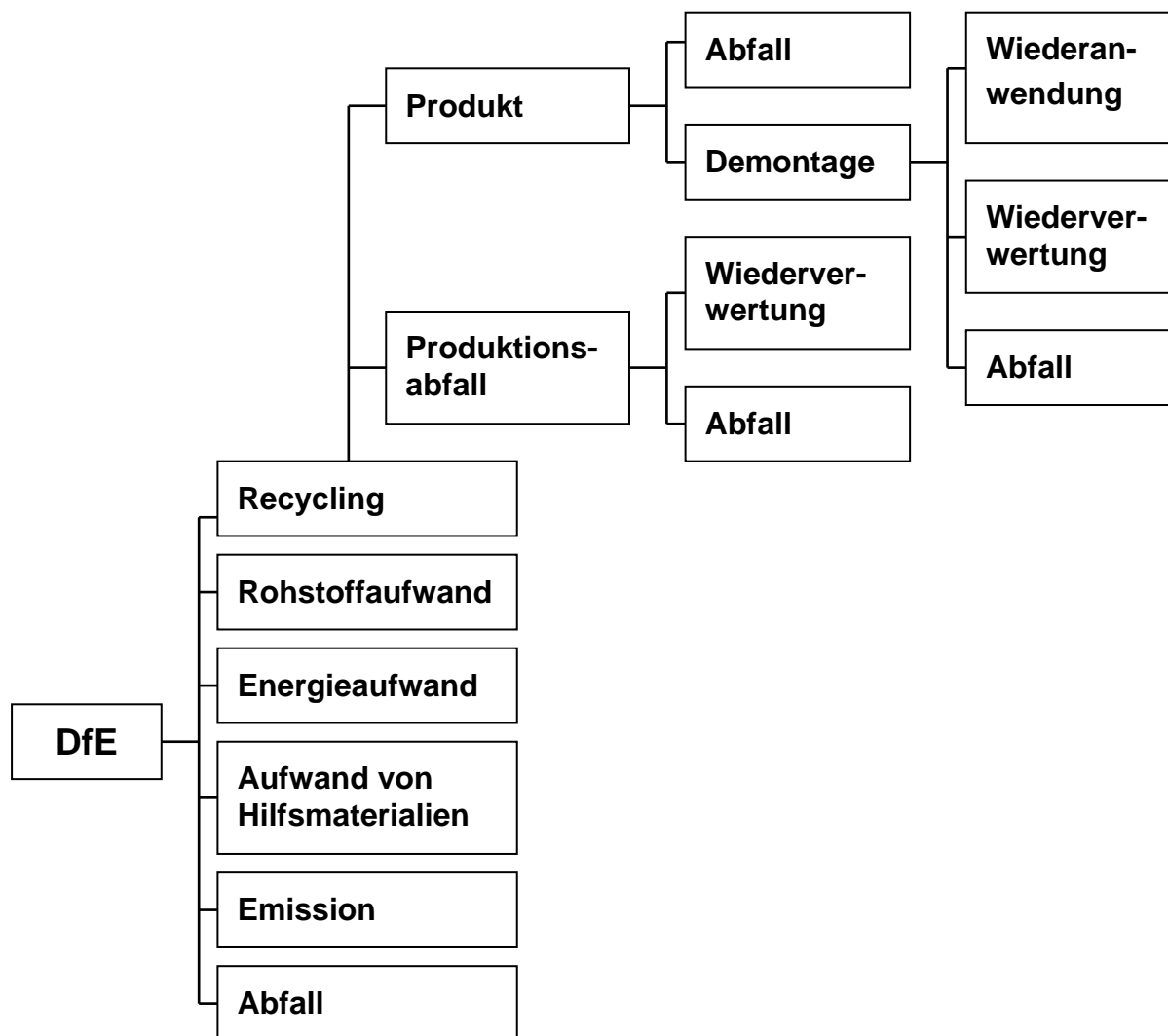


Bild 3.1. Aufbau der DfE Struktur

Für die Analyse verwendet der DfE-Technik der LCA-Methode (Life Cycle Assessment). Das Grundprinzip der Methode ist, daß die Umweltauswirkungen des Produktes im ganzen Produktlebenszyklus präsent sind. Um die Umweltgerechtigkeit des Produktes bewerten zu können, muss man die schädlichen Umweltauswirkungen in jeder Produktlebensphase in irgendeiner Form zusammenziehen. Somit kann man mit wenigen Kennzahlen die volle Auswertung durchführen. Die Umweltauswirkungen werden in dem sogenannten „Umweltproduktprofil“ zusammengefasst (**Bild 3.2.**), welche den Vergleich und die Auswertung ermöglicht.

	Rohstoffe und Brennstoffe		Schadstoffemission			Feste Abfall
	Rohstoffe	Energie	Luft	Wasser	Boden	
Ausschöpfung von Rohstoffe						
Fertigung von Materialien						
Fertigung						
Anwendung						
Abfallaufarbeitung						

Bild 3.2. Umweltproduktprofil

Die damit ermittelte Auswertungskennzahl ist der MET-Wert (MET-Point), die in einer Kennzahl alle Umweltaspekte zusammenfasst. Den MET-Wert kann man zerlegen auf M-, E- und T-Werte (**M**aterialaufwand, **E**nergieaufwand und **T**oxische Emission); so kann man die einzelnen Umweltaspekte separiert betrachten und untersuchen (**Bild 3.3.**).

M- Materialprozesse	E-Energieaufwand	T-toxische Emission
Ausschöpfung von Materialressourcen (88%)	Treibhauseffekt (89%) Versäuerung (49%) Smog (40%) Eutrofization (29%)	Schädigung der Ozonschicht (12%) Menschliche Toxizität (30%) Umwelttoxizität (13%)

Bild 3.3. M-, E-, T-Umweltaspekte und ihre Prioritäten

Bei der MET-Wert-Methode werden die Prioritäten von der holländischen Industrie verwendet, d.h. der Anwender kann nur in einer mit Holland vergleichbare Industriestruktur analysieren. Mit Hilfe der MET-Wert-Methode kann man das „gute Produkt“ nicht ermitteln, es liefert aber eine sehr gute Vergleichsbasis zwischen den verschiedenen Produkten. Man kann damit keine strategischen Fragen einfach beantworten, aber wir können die ersten Eindrücke von den Produktlebensphasen und deren Wichtigkeit erhalten.

## 4 Das DfE-Programm

Das DfE-Programm kann als separiertes Programm oder zusammen mit der DfA-Analyse benutzt werden. Wenn die DfE-Analyse aus einer schon vorhandenen DfA-Analyse hervorgeht, wird der DfE-Arbeitsbogen automatisch von den DfA-Daten generiert. Wenn es als separiertes Programm benutzt wird, muß der Anwender die Demontage-Reihenfolge manuell eingeben. In beiden Fällen muß man die Materialien und Fertigungsprozesse angeben. Die Datenbasen umfassen die Zeit- und Kostendaten der Demontage sowie die mit Materialumwandlung, Fertigung, Verwertung und Versorgung zusammengebundenen Umweltinformationen.

Aufgrund der Demontage-Reihenfolge lassen sich folgende Analysen durchführen:

- Die Kostenanalyse der Demontage, Abfallbehandlung, Wiederverwertung und Wiederverwendung.
- Die Abschätzung der Auswirkungen der Produktherstellung, Abfallbehandlung, Wiederverwertung und Wiederverwendung. Damit läßt sich die optimale Lösung in Hinsicht auf Umweltfreundlichkeit finden.

Außerdem ermittelt der DfE-Programm automatisch die günstigste Demontage-Reihenfolge, welche beim Redesign eine sehr wichtige Rolle spielt. So kann man auch den Rentabilitätspunkt der Demontagetiefe ermitteln. Zusammen mit der MET-Wert-Analyse ermöglicht es dem Anwender, begründete Wirtschaftlichkeits-Entscheidungen in Hinsicht auf die Umweltverträglichkeit des Produktes leichter zu treffen.

## 5 Zusammenfassung

Mit der Anwendung der DfE-Technik erhöht sich zwar der Zeitaufwand des Konstruktionsprozesses, aber sie ermöglicht eine Konstruktionsoptimierung hinsichtlich auf der Umweltverträglichkeit des Produktes, was heute unerlässlich ist. Die DfE-Analyse hilft uns nicht, das optimale Produkt zu ermitteln, aber es liefert eine sehr gute Vergleichsbasis zwischen den verschiedenen Produkten und deren Produktlebensphasen. So könnte man die Methode **Öko-benchmarking** nennen. Derzeit werden diese Methoden nur sehr selten verwendet, was auf folgende Gründe zurückzuführen ist:

- geringe Auswahl an Softwaretools, die noch in Entwicklung sind,
- eine einzige „abgeschirmte“ Analyse schafft noch keinen Durchbruch,
- keine hinreichende Anwenderbetreuung,
- die Entwicklungsstrategie der Herstellerfirmen ist nicht immer gut konzipiert, wobei es auch an Entscheidungsmut des Managements mangelt.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Frech, J.: Kostengerechte Konstruktion, CAD-CAM Report, Nr. 3. 1995.
- [2] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, Hanser Verlag, München, 1995.
- [3] Bercsey, T.; Lőrincz, S.: Cost oriented CAD, CAMP'93, Budapest, 1993.
- [4] Boothroyd & Dewhurst Inc. & TNO's: Desig for Environment, Wakefield, USA, 1996.

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tibor Bercsey  
TU Budapest, Institut für Maschinenkonstruktionslehre  
Lehrstuhl für Produktentwicklung und Agrarmaschinen  
1111. Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
Tel: 0036-1463-1473  
Fax: 0036-1463-3505  
email: bercsey@xenia.gee.bme.hu*

*Dipl.-Ing. Peter Makk  
TU Budapest, Institut für Maschinenkonstruktionslehre  
Lehrstuhl für Produktentwicklung und Agrarmaschinen  
1111. Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
Tel: 0036-1463-4081  
Fax: 0036-1463-3505  
email: makk@xenia.gee.bme.hu*