

E. Abele · R. Anderl · H. Birkhofer
B. Rüttinger (Hrsg.)



EcoDesign

Von der Theorie in die Praxis



Springer

E. Abele · R. Anderl · H. Birkhofer
B. Rüttinger (Hrsg.)



EcoDesign

Von der Theorie in die Praxis



Springer

Eberhard Abele
Reiner Anderl
Herbert Birkhofer
Bruno Rüttinger

EcoDesign

Eberhard Abele
Reiner Anderl
Herbert Birkhofer
Bruno Rüttinger
(Hrsg.)

EcoDesign

Von der Theorie in die Praxis

Mit 101 Abbildungen

 Springer

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 30
64287 Darmstadt

Leiter des Instituts
*Produktionsmanagement, Technologie
und Werkzeugmaschinen (PTW)*

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 30
64287 Darmstadt

Leiter des Fachgebiets
Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK)

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Herbert Birkhofer
Technische Universität Darmstadt
Magdalenenstraße 4
64289 Darmstadt

Leiter des Fachgebiets
*Produktentwicklung und Maschinenelemente
Darmstadt (pmd)*

Prof. Dr. Bruno Rüttinger
Technische Universität Darmstadt
Alexanderstraße 10
64283 Darmstadt

Leiter der Arbeitsgruppe *Arbeits-, Betriebs-
und Organisationspsychologie (ABO)*
des Instituts für Psychologie der
Technischen Universität Darmstadt

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-540-75437-4 **Springer Berlin Heidelberg New York**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin
Satz: Druckreife Vorlage der Herausgeber
Herstellung: Christine Adolph

Gedruckt auf säurefreiem Papier 30/2133/CA 5 4 3 2 1

Vorwort der Herausgeber

Der Schutz der Umwelt als Zielstellung für unser Handeln und als Lebensgrundlage für zukünftige Generationen nimmt einen breiten Raum in der öffentlichen Diskussion und in den Medien ein. Viele Vorschläge werden genannt, wie wir unsere Ressourcen schonen und die Abfälle und Emissionen begrenzen können. All das ist gut gemeint, aber manches ist in einem Hochlohnland wie Deutschland mit seinem komplexen wirtschaftlichen Gefüge nicht oder nur auf lange Sicht hinaus umzusetzen. Anderes betrifft bei genauer Betrachtung weit mehr die Verbraucher mit ihrer Konsumorientierung als die industriellen Produzenten, die im harten globalen Wettbewerb stehen und versuchen, die Kundenwünsche optimal zu befriedigen.

Das vorliegende Buch ist ein Bericht über ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Vorhaben, in dem Wissenschaft und Unternehmen gemeinsam versuchen, Lösungen aufzuzeigen und umzusetzen, um konsequent der Verantwortung der Unternehmen für die Umwelt gerecht zu werden. Der Transferbereich 55 „Umweltgerechte Produkte durch optimierte Prozesse, Methoden und Instrumente in der Produktentwicklung“ umfasst sechs Kooperationsprojekte zwischen Instituten und Fachgebieten der TU Darmstadt und Industrieunternehmen. Er basiert auf den wissenschaftlichen Ergebnissen und Erkenntnissen des Sonderforschungsbereichs 392 „Entwicklung umweltgerechter Produkte“ und zielt auf die Umsetzung der dort gewonnenen Erfahrungen im industriellen Alltag. Die Forscher stellen sich damit explizit den Herausforderungen des betrieblichen Alltags und wollen ihren Teil dazu beitragen, dass umweltgerechtes Denken und Handeln in die Prozesse der Produktentstehung umfassend integriert wird.

Die Schwierigkeiten dabei sind groß. Unternehmen stehen in einem scharfen, oft globalen Wettbewerb. Lohnniveau und Arbeitsplatzsicherung sind dabei zentrale Themen. Kosten und Qualität, Time to Market und Renditen für Anteilseigner bestimmen maßgeblich die Entscheidungen im gesamten Prozess der Produktentstehung. Die Umweltrelevanz von Produktentscheidungen und Prozessgestaltungen gerät demgegenüber leicht in Gefahr, nachrangig behandelt und auf das Erfüllen von gesetzlichen Mindestanforderungen reduziert zu werden.

Hinzu kommen die vielfältigen Verordnungen und Gesetze im Umweltrecht aus nationalen und EU-Legislativen. So notwendig und wichtig derartige Vorgaben zum Schutze unserer Umwelt sind, so

unsicher, ja teilweise unbefriedigend sind die Umsetzungsbestimmungen, denen es oft an konkreten, für die Unternehmenspraxis geeigneten Vorgaben mangelt. Unsicherheit über Ziele und Maßnahmen aber fördert die Skepsis hinsichtlich der Bedeutung von Umwelanforderungen und lässt leicht andere Anforderungen wichtiger erscheinen.

In diesem Spannungsfeld aus Marktanforderungen, Wettbewerbsdruck und Gesetzesvorgaben hat der Transferbereich 55 in drei Jahren Laufzeit die hier beschriebenen Projekte bearbeitet und dabei auf unterschiedlichsten Betätigungsfeldern nachweisbare Erfolge erzielt. Schnell zeigte sich dabei, dass den einzelnen Unternehmen nicht eine Einheitslösung für umweltgerechtes Denken und Handeln nützt. Vielmehr bedarf es der individuellen Umsetzung von EcoDesign-Ansätzen, welche den spezifischen Situationen und Bedürfnissen der Unternehmen Rechnung tragen. So werden hier Projekte beschrieben, die konkrete Produktentwicklungen betreffen, ebenso wie Projekte, in denen der Schwerpunkt auf einer Optimierung der Produktentstehungsprozesse im Hinblick auf Umweltbezüge im Vordergrund steht. Bereichsübergreifend verwendbare Arbeitsmittel und Softwareentwicklungen für Umweltanalysen und -optimierungen finden sich ebenso wie marktpsychologische und ergonomische Arbeiten zur Verbesserung der Umweltperformance von Produkten. Einmal mehr leitet sich hieraus die Erkenntnis ab, dass Umwelt nicht allein ein Thema für einen Umweltbeauftragten sein darf, sondern durchgängig alle Phasen des betrieblichen Leistungserstellungsprozesses betrifft. Dennoch können wertvolle, weitgehend allgemeingültige Ratschläge für die Implementierung des EcoDesigns in Unternehmen gegeben werden, die in diesem Buch in einem praktischen Leitfaden zusammengefasst wurden.

Was hier vorliegt, sind konkrete Umsetzungsbeispiele von umweltgerechten Produkten, Prozessen, Methoden und Instrumenten mit einer Fülle von Hinweisen und Empfehlungen für Nachahmer in anderen Unternehmen und Branchen. Für die Wissenschaft mag dieses Buch als Empfehlung, aber auch als Ansporn dienen, sich den Herausforderungen der betrieblichen Praxis zu stellen. Wissenschaft und Praxis müssen keine Gegensätze sein und es gehört zu den wertvollsten Erfahrungen dieses Transferbereichs, das gemeinsame Agieren von Forschern und Praktikern zum Wohle unserer Umwelt zu beobachten.

Den wissenschaftlichen Mitarbeitern und den mit uns als Hilfsassistenten, Bachelor- oder Masterstudenten mitarbeitenden Studierenden sei an dieser Stelle auf das Herzlichste gedankt. Sie sind es, die sich auf dieses komplexe und schwierige Vorhaben eingelassen und es mit außerordentlichem Engagement und mit Freude zum Erfolg geführt haben. Herzlicher Dank gebührt auch den kooperierenden Forschern im In-

und Ausland, deren Sichten und Arbeiten in vielen Diskussionen uns immer wieder Anstoß und Anregung zu noch besserem Vorgehen waren.

Außerordentlicher Dank aber gebührt den kooperierenden Unternehmen, die bereit waren, sich mit uns der Verantwortung „Umwelt“ zu stellen. Eine der erstaunlichsten Erfahrungen bei der Akquise der Unternehmen in der Zeit der Vorbereitung des Transferbereichs war die vielfache Bereitschaft der Unternehmen, sich trotz hohem Markt- und Wettbewerbsdruck mit erheblichem eigenen Aufwand und Engagement in die Projekte einzubringen. Insbesondere die Mitarbeiter aus der Industrie, die als direkte Kooperationspartner mit und zusammen diesen Transferbereich ausgestalteten, haben hervorragende Arbeit geleistet. Ihnen und den Unternehmen Alfred Kärcher GmbH & Co. KG, Heidelberger Druckmaschinen AG, Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH Motorola AG sowie der TechniData AG sei ganz besonders gedankt.

Schließlich gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für ihre Forschungsförderung ein großer Dank. Sie hat mit dem großartigen Instrument der Transferbereiche seit Jahren einen erfolgreichen Weg aufgezeigt, die viel zitierte Kluft zwischen Wissenschaft und Praxis zu schließen und der wissenschaftlichen Exzellenz auch eine Umsetzungsexzellenz an die Seite zu stellen. Herzlichen Dank auch an die Gutachter der DFG, die unsere Anträge so positiv begutachtet und unsere Arbeit immer wohlwollend unterstützt haben.

Darmstadt, im November 2007

Eberhard Abele, Reiner Anderl, Herbert Birkhofer, Bruno Rüttinger

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	1
EcoDesign	3
Der Sonderforschungsbereich 392	4
Der Transferbereich 55.....	6
Ziele.....	7
Beteiligte Fachgebiete und Unternehmen.....	8
Transferschwerpunkte und -projekte	9
Literatur.....	12
1 EuP-Implementierung	13
1.1 Projektpartner und Ausrichtung des Transferprojekts.....	13
1.2 Projektziele.....	15
1.3 Vorgehensweise	16
1.4 Ergebnisse des Transferprojekts.....	17
1.4.1 Analyse der gesetzlichen Vorgaben der EuP-Richtlinie.....	18
1.4.2 Rückspielen der Erfahrungen in die Gremienarbeit	25
1.4.3 Methodische Unterstützung im Entwicklungsprozess.....	25
1.4.3.1 Umwelt-FMEA.....	32
1.4.3.2 Umwelt-QFD.....	35
1.4.3.3 Befragung zur Methodenanwendung	39
1.4.3.4 Methodenanwendung im Entwicklungsprojekt.....	40
1.4.4 Einführung von Methoden zur umweltgerechten Produktentwicklung	41
1.5 Literatur.....	46
2 Life Cycle Design in der industriellen Entwicklungspraxis.....	47
2.1 Einleitung	47
2.1.1 Projektziele	48
2.1.2 Vorgehensweise.....	49
2.1.3 Ausgangslage.....	50
2.1.3.1 Stand des produktbezogenen Umweltschutzes im Unternehmen	50
2.1.3.2 Der Kärcher-Produktentstehungsprozess	51
2.1.3.3 Produktentwicklungsprozess-Analyse.....	53
2.1.3.4 Fazit aus der Prozessanalyse	56
2.2 Ansatz und Umsetzung im Unternehmen.....	57
2.2.1 Ansatz.....	57
2.2.2 Umsetzung.....	61

2.2.2.1	Definition produktbezogener Ziele	61
2.2.2.2	Gestaltung des Informationsflusses.....	62
2.2.2.3	Ermittlung der ökologischen Potenziale.....	63
2.2.2.4	Gestaltung der Prozessabläufe.....	65
2.2.2.5	Gezielte Unterstützung bei der Produktentwicklung... 66	66
2.2.3	Unterstützende Arbeitsmittel.....	67
2.2.3.1	UTeMa-Matrix	67
2.2.3.2	Ökobilanztool	73
2.2.3.3	Motorenauswahltool	76
2.2.3.4	Elektronikauswahltool.....	78
2.3	Erkenntnisse	79
2.4	Literatur.....	81

3 Umweltgerechte Energieversorgung für mobile

Kommunikationsgeräte	83
3.1 Projektrahmen	83
3.1.1 Industriepartner.....	83
3.1.2 Problemstellung.....	84
3.1.3 Ziel.....	85
3.1.4 Vorgehensweise.....	87
3.2 Durchführung	89
3.2.1 Analyse bestehender Systeme und Forschungsaktivitäten	89
3.2.1.1 Aktive Systeme	89
3.2.1.2 Passive Systeme	92
3.2.2 Ermitteln von Energieverbrauch und Nutzerprofilen	93
3.2.2.1 Energieverbrauch von Mobiltelefonen.....	94
3.2.2.2 Nutzerprofile	95
3.2.3 Die wichtigsten Anforderungen an die mobile, netzunabhängige Stromversorgung	97
3.2.4 Lösungsfindung und -auswahl.....	99
3.2.4.1 Physikalische Effekte zum Wandeln elektrischer Energie	99
3.2.4.2 Sammeln von Lösungsvarianten	99
3.2.4.3 Systematische Auswahl und Bewertung der Lösungsvarianten	101
3.3 Ergebnisse	102
3.3.1 Auswahl geeigneter Thermogeneratoren.....	103
3.3.2 Beschreibung der ausgewählten Lösungsvariante	104
3.3.3 Aufbau und Test des Funktionsmusters.....	105
3.3.4 Umweltverträglichkeit der Lösung.....	107
3.3.5 Designmuster des FreePhone.....	108
3.3.6 Ergebnisse der Nutzerakzeptanzuntersuchung	110

3.3.7 Übertragbarkeit der Ergebnisse	111
3.4 Empfehlungen.....	112
3.5 Literatur	112
4 Integrierte Arbeitsmittel für die Entwickler umweltgerechter Investitionsgüter	115
4.1 Projektrahmenbedingungen.....	115
4.1.1 Das Unternehmen	115
4.1.2 Projektziele	117
4.1.3 Vorgehensweise.....	118
4.1.4 Analyse der Ausgangslage.....	119
4.1.4.1 Unternehmensumfeld	119
4.1.4.2 Produktentwicklungsprozess	120
4.1.4.3 Methodische Unterstützung.....	122
4.1.4.4 Anforderungen an Arbeitsmittel.....	125
4.1.4.5 Produkt	127
4.2 Erstellung und Umsetzung des Unterstützungskonzeptes	131
4.2.1 Modularisierungsansatz	131
4.2.2 Optimierung und Neuentwicklung von Arbeitsmitteln	135
4.2.2.1 House of Environment.....	136
4.2.2.2 EcoSpec	140
4.2.2.3 Sensibilisierungstool	140
4.2.2.4 RiskMan Umwelt	141
4.2.3 Zuordnung der Arbeitsmittel zu Prozessschritten.....	142
4.3 Bereitstellung und Implementierung	143
4.3.1 Umsetzung in einem Intranetportal	143
4.3.2 Evaluation des Portals	144
4.3.3 Bereitstellung beim Unternehmen	145
4.3.4 Anpassung der Geschäftsprozesse.....	145
4.3.5 Zukünftige Entwicklung	146
4.4 Erkenntnisse	146
4.5 Literatur	147
5 Life Cycle Design auf Basis von Standardsoftwaresystemen.....	149
5.1 Einleitung	149
5.1.1 Ausgangslage und Motivation	150
5.1.2 Projektziele und Vorgehensweise.....	153
5.1.3 Die Software „Compliance for Products“ (CfP) von TechniData	154
5.1.3.1 Spezifikationsdatenbank.....	155
5.1.3.2 Stücklistenübertrag – BOMBOS	156
5.1.4 Produktbezogene Umweltgesetzgebung	156

5.1.4.1 Umweltgesetzgebung in Europa.....	157
5.1.4.2 Umweltgesetzgebung in USA, Japan und China.....	158
5.2 Konzept und Umsetzung	159
5.2.1 Informationsbereitstellung zur produktbezogenen Umweltgesetzgebung	160
5.2.1.1 Anforderungsmatrix	160
5.2.1.2 Umweltgesetz-Datenbankprototyp	161
5.2.2 Die Ökologische Beurteilung im Rahmen des Life Cycle Designs.....	163
5.2.2.1 Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens	164
5.2.2.2 Sachbilanzierung und Wirkungsabschätzung.....	164
5.2.3 Einführung und Nutzung des Systems.....	174
5.2.4 Anwendungsbeispiel Environmental Product Declaration	176
5.3 Fazit.....	180
5.4 Empfehlungen	181
5.5 Literatur.....	181
6 Ergonomische und marktpsychologische Aspekte der Entwicklung umweltgerechter Produkte	185
6.1 Einleitung	185
6.2 Projektziele und Arbeitsprogramm	187
6.3 Eingesetzte Methoden und Instrumente	188
6.3.1 Ergonomische Methoden und Instrumente	188
6.3.1.1 Contextual Inquiry.....	189
6.3.1.2 Usability-Test	189
6.3.1.3 Heuristische Analyse.....	190
6.3.1.4 Klassifikation der Nutzungsprobleme	191
6.3.1.5 Funktions- und Gestaltungsmatrix	193
6.3.2 Ermittlung der Kundenerwartungen	195
6.4 Ergebnisse	196
6.4.1 Evaluation des Ausgangsprodukts.....	196
6.4.1.1 Ergonomische Evaluation des Ausgangsprodukts....	196
6.4.1.2 Prüfung der Kundenakzeptanz	198
6.4.2 Entwicklung und Evaluation papierbasierter Prototypen	199
6.4.2.1 Entwicklung papierbasierter Prototypen	199
6.4.2.2 Evaluation der papierbasierten Prototypen.....	203
6.4.2.3 Marktpsychologische Bewertung	205
6.4.3 Umsetzung des strukturellen/operationalen Prototyps	206
6.4.4 Konsistenzuntersuchungen	207
6.4.5 Unterstützung ergonomischer Produktoptimierung durch neue Instrumente der Marktforschung	212
6.4.5.1 Methode der Dyadischen Kaufentscheidung.....	212

6.4.5.2 Methode zur Ermittlung geltungstiftender Produktmerkmale	214
6.5 Fazit und Handlungsempfehlungen	216
6.6 Literatur	217
7 Leitfaden zur Einführung von EcoDesign in Unternehmen	219
7.1 Einführung.....	219
7.2 Formulierung der EcoDesign-Unternehmensziele und Aufstellen einer EcoDesign-Strategie.....	221
7.3 Situationsanalyse und Feststellen des Handlungsbedarfs an den Geschäftsprozessen	227
7.4 Gestalten der methodische Unterstützung und Schaffen von Basiswissen zur umweltgerechten Produktentwicklung	233
7.5 Umsetzung der Maßnahmen in den Entwicklungsprozess und in die Geschäftsprozesse	239
Index.....	245

Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. (FH) Ingrid Amon-Tran
Heidelberger Druckmaschinen AG
Abteilungsleiterin Umwelt & Chemie
Teilprojekt C4

Kurfürsten-Anlage 52-60
69115 Heidelberg

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Erik Bachmann
TechniData AG
Senior Project Manager
EH&S Solutions for Products & Production
Teilprojekt C5

Dornierstraße 3
88677 Markdorf

Dipl.-Wirtsch.-Ing (FH) Wolfram Callenius
Alfred Kärcher GmbH & Co. KG
Produkt- und Zielgruppenmanagement
Scheuersaugmaschinen
Teilprojekt C6

Alfred-Kärcher Straße 28-40
71364 Winnenden

Dipl.-Ing. Frank Dieter Clesle
TechniData AG
Corporate Vice President
Leiter Profolio Management
Teilprojekt C5

Dornierstraße 3
88677 Markdorf

Dr.-Ing. Stefan Feickert
Produktionsmanagement, Technologie
und Werkzeugmaschinen (PTW)
Teilprojekt C5 (bis 12/2006)

Dr. Tobias Felsing
Arbeits-, Betriebs- und Organisations-
psychologie (ABO)
Teilprojekt C6

Dipl.-Psych. Holger Franke
Arbeits-, Betriebs- und Organisations-
psychologie (ABO)
Teilprojekt C6

Dipl.-Ing. Christof Fritz
Produktentwicklung und Maschinenelemente
Darmstadt (pmd)
Teilprojekt C3

Dr.-Ing. Hagen Gehringer
Alfred Kärcher GmbH & Co. KG
Bereichsleiter Corporate Development
Teilprojekte C2 und C6

Alfred-Kärcher Straße 28-40
71364 Winnenden

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Grossmann
Produktentwicklung und Maschinenelemente
Darmstadt (pmd)
Teilprojekt C1

Dr.-Ing. Joachim Günther
Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH
Gruppenleiter Konstruktion Diamanttechnik
Teilprojekt C1

Hiltistrasse 6
D-86916 Kaufering

M.Sc. Sonja Hansen
Produktionsmanagement, Technologie
und Werkzeugmaschinen (PTW)
Teilprojekt C1

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dirk Hanusch
Produktentwicklung und Maschinenelemente
Darmstadt (pmd)
Teilprojekt C4

Dr. Kerstin Haury
Arbeits-, Betriebs- und Organisations-
psychologie (ABO)
Teilprojekt C6

Dipl.-Ing. Udo Hermenau
Produktionsmanagement, Technologie
und Werkzeugmaschinen (PTW)
Teilprojekt C2

Dipl.-Psych. Sonja Kleinheinz
Arbeits-, Betriebs- und Organisations-
psychologie (ABO)
Teilprojekt C6

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Kuhrke
Produktionsmanagement, Technologie
und Werkzeugmaschinen (PTW)
Teilprojekt C5