

C. Herrmann

Ganzheitliches Life Cycle Management

Nachhaltigkeit und
Lebenszyklusorientierung
in Unternehmen

 Springer

VDI

Ganzheitliches Life Cycle Management

Christoph Herrmann

Ganzheitliches Life Cycle Management

Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung
in Unternehmen



Springer

PD Dr.-Ing. Christoph Herrmann
TU Braunschweig
Inst. Werkzeugmaschinen und
Fertigungstechnik
Langer Kamp 19 B
38106 Braunschweig
Deutschland
c.herrmann@tu-bs.de

ISBN 978-3-642-01420-8 e-ISBN 978-3-642-01421-5
DOI 10.1007/978-3-642-01421-5
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

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.

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

Einbandentwurf: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort

Das vorliegende Buch ist das Ergebnis meiner Habilitation an der Technischen Universität Braunschweig. Im Jahr 1996 begann für mich die Auseinandersetzung mit Fragestellungen aus dem Spannungsfeld Umwelt – Technik – Wirtschaft. Aufbauend auf einer Vielzahl von Demontageuntersuchungen unterschiedlichster Elektro- und Elektronikgeräte war es das Ziel, eine Systematik und ein Werkzeug zur Analyse und Bewertung von Produkten hinsichtlich ihrer Demontage- und Recyclingfähigkeit zu schaffen. In meinen Aufenthalten in Südkorea am LG Production Research Center in den Jahren von 1997 bis 2001 lernte ich, dass die Entwicklung eines Werkzeuges eine Sache ist, deren Verankerung in der Produktentwicklung bzw. im Unternehmen eine ganz andere. Die Inhalte und Ziele eines Design for Disassembly (oder Non-Disassembly) und Design for Recycling sowie ihre Beziehungen zu den Anforderungen aus den anderen Produktlebensphasen wurden intensiv diskutiert. Life Cycle Design und Design for Environment kamen dazu und mit Ihnen die Frage, wie ein Life Cycle Assessment im Unternehmen verankert werden kann. Zur gleichen Zeit wurden in Braunschweig verschiedene Ansätze zur Planung von Demontagesystemen bzw. der Retro-Produktion entwickelt. Damit einher ging die Frage zur Gestaltung der Schnittstelle zwischen der Produktentstehung und dem Produktrecycling; welche Information braucht beispielsweise ein Zerlegebetrieb für eine fachgerechte Behandlung von Elektro- und Elektronikgeräten? Ein stoffstrombasiertes Supply Chain Management zur Schließung von Material- und Produktkreisläufen stand (2000-2003) bzw. steht (2007-2009) im Mittelpunkt weiterer Forschungsprojekte. Ergebnisse hieraus sind ein Konzept für die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile in der Ersatzteilversorgung und die Beschreibung von Referenzgeschäftsprozessen. Die lebenszyklusorientierte Produktplanung und die Informations- und Wissensbereitstellung für die lebenszyklusorientierte Produktentwicklung sind Inhalte weiterer Arbeiten die in Braunschweig entstanden sind. Produkt-Service-Systeme oder hybride Leistungsbündel bieten Chancen für eine Differenzierung im Wettbewerb und müssen in diese Planung integriert werden. Für produzierende Unternehmen sind Energie- und Ressourceneffizienz Themen die an Aktualität eher gewonnen als verloren haben; Nachhaltigkeit in der Produktion ist hier die große Überschrift. Diese Entwicklungen sind nur Beispiele für eine Vielzahl von Lösungsbausteinen wie sie an der TU Braunschweig und an verschiedenen Orten und Einrichtungen weltweit entwickelt wurden und werden.

Aufbauend auf dem Modell lebensfähiger Systeme von Beer und dem St. Galler Management-Konzept von Ulrich und Bleicher war es das Ziel meiner Arbeit, einen Bezugsrahmen zu schaffen, der hilft die oben skizzierten Entwicklungen einzuordnen und Beziehungen zwischen ihnen aufzuzeigen. Daraus entstanden ist ein Zusammenspiel unterschiedlicher Disziplinen welches ich als Ganzheitliches Life Cycle Management bezeichne. Das Buch zeigt die Entwicklung des Bezugsrahmens und stellt wichtige Grundlagen sowie Beispiele für die lebenszyklusorientierte Ausgestaltung der Disziplinen dar.

Zunächst gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jürgen Heselbach für seine Unterstützung und Förderung und den Freiraum für meine Arbeit. Ihm und Herrn Prof. Dr.-Ing. Horst Meier sowie Herrn Prof. Dr. Ir. Joost Duflou danke ich für die Übernahme der Gutachten.

Mein herzlicher Dank gilt den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern meiner Abteilung Produkt- und Life-Cycle Management am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik. Ihre Diskussionsbereitschaft und Unterstützung haben diese Arbeit erst ermöglicht; stellvertretend für die „zweite Generation“ seien an dieser Stelle Herr Dr.-Ing. Lars Bergmann, Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tobias Luger, Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sebastian Thiede, Frau Dipl.-Wirtsch.-Ing. Meike Royer-Torney, Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Julian Stehr, Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. André Zein, Frau Dipl.-Wirtsch.-Ing. Katrin Kuntzky und Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Halubek genannt. Den Grundstein für die vorliegende Arbeit hat die „erste Generation“ wissenschaftlicher Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gelegt; stellvertretend seien an dieser Stelle namentlich Herr Dr.-Ing. Marc Mateika, Herr Dr.-Ing. René Graf, Herr Dr.-Ing. Martin Ohlendorf, Herr Dr.-Ing. Markus Mansour und Frau Dr.-Ing. Hee Jeong Yim genannt. Und natürlich danke ich – „generationsübergreifend“ Herrn Dr.-Ing. Ralf Bock, Frau Dr.-Ing. Dipl.-Geoökol. Tina Dettmer und Frau Dipl.-Chem. Gerlind Öhlschläger. Wesentlich zu der jetzt vorliegenden Form des Buches hat Herr Sebastian Rose beigetragen; vielen Dank für das Engagement.

Mein ganz persönlicher liebevoller Dank gilt meiner Frau Anke Unverzagt. Das Erreichte wäre nicht möglich gewesen ohne Ihre Unterstützung. Ihr ist auch diese Habilitation gewidmet.

Braunschweig, im Juli 2009

Christoph Herrmann

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	5
2	Herausforderungen und neue Anforderungen an Unternehmen	7
2.1	Globale Herausforderungen	7
2.1.1	Anstieg der Weltbevölkerung	8
2.1.2	Angleichung der Lebensstandards	9
2.1.3	Verbrauch natürlicher (nicht-erneuerbarer) Ressourcen	11
2.1.4	Umweltwirkungen	13
2.1.5	Verständnis für komplexe Systeme	15
2.2	Ökonomische Herausforderungen und allgemeine Trends	17
2.2.1	Neue Wettbewerber	18
2.2.2	Verhandlungsmacht von Zulieferern und Abnehmern	21
2.2.3	Konkurrenzdruck unter den vorhandenen Wettbewerbern	21
2.2.4	Alternative Produkte und Dienstleistungen	22
2.2.5	Gestaltungselemente für die Unternehmensentwicklung	22
2.2.6	Allgemeine Trends	24
2.2.7	Beispiel „Individualisierung der Produkte“	24
2.2.8	Beispiel „X-Tronic“	24
2.2.9	Beispiel „Innovationstiming“	28
2.2.10	Beispiel „hybride Angebote“	28
2.2.11	Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Betriebsmittel	29
2.2.12	Steigende Energie- und Rohstoffkosten	30
2.3	Ökologische Herausforderungen	31
2.3.1	Umweltprobleme und -ursachen	32
2.3.2	Aktuelle Ausmaße von Umweltproblemen und -ursachen	34
2.3.3	Zukünftige Entwicklungen	41
2.4	Nachhaltige Entwicklung	44
2.4.1	Gegenstände der Nachhaltigkeitsforderung und Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung	46
2.4.2	Prinzipien und Strategien einer nachhaltigen Entwicklung	48

2.5	Ziele und Instrumente der Umweltpolitik	51
2.5.1	Ziele der Umweltentwicklung	51
2.5.2	Instrumente der Umweltpolitik	54
2.6	Industrielle Ökologie, Nachhaltiges Wirtschaften und Konsequenzen für Unternehmen	56
2.6.1	Industrielle Ökologie (Industrial Ecology)	56
2.6.2	Nachhaltiges Wirtschaften	57
2.6.3	Konsequenzen für Unternehmen	58
3	Lebenszykluskonzepte und Management	63
3.1	Lebensphasen- und Lebenszykluskonzepte	63
3.1.1	Lebensphasenkonzepte (flussorientiert)	64
3.1.2	Lebenszykluskonzepte (zustandsorientiert)	65
3.1.3	Integrierte Lebenszykluskonzepte (phasen- und zyklusorientiert)	71
3.1.4	Lebenszykluskonzepte für Technologien	74
3.1.5	Lebenszykluskonzepte sozio-technischer Systeme	74
3.1.6	Kopplung verschiedener Lebenszyklen	78
3.2	Lebenszyklusorientiertes Management	79
3.2.1	Einordnung des Managements	81
3.2.2	Lösungsbausteine für ein lebenszyklusorientiertes Management	83
3.3	Handlungsbedarf	92
4	Modell und Bezugsrahmen für ein Ganzheitliches Life Cycle Management	95
4.1	Anforderungen an ein Ganzheitliches Life Cycle Management	96
4.2	Managementmodelle und komplexe Systeme	98
4.2.1	Systemtheorie und Kybernetik	98
4.2.2	Die systemisch-kybernetische Managementperspektive	103
4.2.3	Das Modell lebensfähiger Systeme	107
4.2.4	Das St. Galler Management-Konzept	113
4.3	Bezugsrahmen für ein Ganzheitliches Life Cycle Management	115
4.3.1	Disziplinen im Ganzheitlichen Life Cycle Management	118
4.3.2	Kopplung von Lebenswegen und -zyklen	123
4.3.3	Integration und Zuordnung der Disziplinen	127
5	Lebensphasenübergreifende Disziplinen	131
5.1	Lebensweganalysen	131
5.1.1	Ökonomische Lebensweganalyse	131
5.1.2	Ökologische Lebensweganalyse	150
5.1.3	Soziale Lebensweganalyse	166
5.2	Informations- und Wissensmanagement	169
5.2.1	Grundlagen des Informationsmanagements	170
5.2.2	Grundlagen des Wissensmanagements	180

5.2.3	Lebenszyklusorientiertes Informations- und Wissensmanagement	188
5.2.4	Entwicklungsstufen und –perspektiven eines lebenszyklusorientierten Informations- und Wissensmanagements	196
5.3	Prozessmanagement	206
5.3.1	Grundlagen des Prozessmanagements	207
5.3.2	Lebenszyklusorientiertes Prozessmanagement	224
6	Lebensphasenbezogene Disziplinen	235
6.1	Produktmanagement	235
6.1.1	Grundlagen des Produktmanagements	235
6.1.2	Lebenszyklusorientierung in der Produktplanung	257
6.1.3	Lebenszyklusorientierung in der Produktentwicklung	278
6.2	Produktionsmanagement	294
6.2.1	Grundlagen des Produktionsmanagement	294
6.2.2	Lebenszyklusorientiertes Produktionsmanagement	306
6.3	After-Sales Management	348
6.3.1	Grundlagen des After Sales Management	349
6.3.2	Lebenszyklusorientiertes After-Sales Management	359
6.4	End-of-Life Management	375
6.4.1	Grundlagen und Rahmenbedingungen	376
6.4.2	Lebenszyklusorientiertes End-of-Life Management	397
7	Zusammenfassung und Ausblick	417
7.1	Zusammenfassung	417
7.2	Ausblick	419
	Literatur	425
	Sachverzeichnis	469

Formelzeichen

Formelzeichen	Übliche Einheit	Größe
K_I^{KrW}	Euro	Investitionsabhängige Kosten
$K_{Stofffluss}^{KrW}$	Euro	Stoffflusserlöse bzw. Stoffflusskosten
$K_{Prozess}^{KrW}$	Euro	Prozesskosten
$K_{sonstige}^{KrW}$	Euro	Sonstige betriebsbedingte Kosten
K^{KrW}	Euro	Gesamtkosten für ein Kreislaufwirtschaftskonzept

Abkürzungsverzeichnis

ABC	Activity Based Costing
AP	Acidification Potential
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BP	British Petroleum p.l.c.
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CED	Cumulated Energy Demand
CLSC	Closed-Loop Supply Chain
CLSCM	Closed-Loop Supply Chain Management
CPDM	Collaborative Product Definition Management
CPU	Central Processing Unit
CRM	Customer Relationship Management
CRP	Cancer Risk Potential
DFA	Design for Assembly
DFD	Design for Disassembly
DFE	Design for Environment
DFL	Design for Life Cycle
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DFR	Design for Recycling
DFS	Design for Service
DFX	Design for X
DP	Design Parameter (Gestaltungselement)
DUX	Deutscher Umweltindex
EAI	Enterprise Application Integration
ELV	End-of-Life Vehicle
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EPI	Environmental Performance Index
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette

EPR	Extended Producer Responsibility
ERP	Enterprise Resource Planning
FMEA	Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse
FOD	Function Oriented Design
FR	Functional Requirement (funktionale Anforderung)
GoM	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung
GPS	Ganzheitliches Produktionssystem
GWP	Global Warming Potential
HTML	Hypertext Markup Language
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPP	Integrierte Produktpolitik
IT	Informationstechnologie
IuK	Informations- und Kommunikationstechnologien
IUM	Integrierte Unternehmensmodellierung
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LAN	Local Area Network
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
LCE	Life Cycle Evaluation (auch Life Cycle Engineering)
LCI	Life Cycle Information-Support
LCI	Life Cycle Inventory
LCM	Life Cycle Management
LTM	Life Time Management
MI	Materialinput
MIPS	Materialinput pro Serviceeinheit
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSDD	Manufacturing System Design Decomposition
MVA	Müllverbrennungsanlagen
NP	Nitrification Potential
ODP	Ozone Depletion Potential
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OPD	Organisationsprozessdarstellung
PCM	Product Cycle Management
PDC	Product Definition and Commerce
PDM	Produktdatenmanagement (Product Data Management)
PIUS	Produktintegrierter Umweltschutz
PKR	Prozesskostenrechnung
PKW	Personenkraftwagen
PLM	Product Lifecycle Management
PM	Produktmanagement
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
POE	Point of Entry, Reentry or Exit
POR	Point of Return
POS	Point of Sale

PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PV	Process Variable (Prozessvariable)
QFD	Quality Function Deployment
RD	Resource Depletion
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
RoHS	Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, deutsch: Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
SCC	Supply Chain Council
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SE	Simultaneous Engineering
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SGML	Standard Generalized Markup Language
SOM	Semantisches Objektmodell
STEP	Standard for the Exchange of Product Data
TC	Target Costing
TCO	Total Cost of Ownership
TGA	Technische Gebäude Ausrüstung/Ausstattung
TQM	Total Quality Management
UBA	Umweltbundesamt
UBP	Umweltentlastungspunkte
UML	Unified Modeling Language
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNEP	United Nations Environment Program
VDMA	Verband der Maschinen- und Anlagenbauer
VR	Virtual Reality
VSM	Viable System Model (Modell lebensfähiger Systeme)
WAN	Wide Area Network
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment, deutsch: Elektro- und Elektronikalt-/schrottgeräte
XML	Extensible Markup Language
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Veränderungen im Unternehmensumfeld	2
Abb. 1.2	Steigerung der Nutzenproduktivität von Ressourcen (Seliger, 2004, S. 30)	3
Abb. 1.3	Aufbau der Arbeit	6
Abb. 2.1	Historische Entwicklung (CENSUS, 2009) und Projektionen der Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 (UN, 2009)	8
Abb. 2.2	Anteil der Menschen, die von weniger als 1 \$ am Tag leben (UN, 2006, S. 4)	9
Abb. 2.3	Equity-Faktoren und Lorenzkurve; in Anlehnung an (Seliger, 2004)	10
Abb. 2.4	Weltweites Mengenaufkommen an Elektro(nik)altgeräten (1999) im Vergleich zur Bevölkerungszahl (Ohlendorf, 2006, S. 2)	11
Abb. 2.5	Verfügbarkeit von konventionellem Erdöl weltweit (BGR, 2008, S. 19)	12
Abb. 2.6	System Industrie und Umwelt	13
Abb. 2.7	Die fünf Wettbewerbskräfte nach Porter	18
Abb. 2.8	Umsatz, Export und Weltmarktanteile ausgewählter chinesischer Unternehmen (Williamson und Zeng, 2004)	19
Abb. 2.9	Anteil chinesischer Hersteller von Mobiltelefonen am inländischen Markt (Xie und Li-Hua, 2008)	20
Abb. 2.10	Die Endgames-Kurve (Kröger, 2004, S. 172)	22
Abb. 2.11	Umfrageergebnisse zur Umsetzung und Bedeutung von Gestaltungselementen in produzierenden KMU (Herrmann et al., 2007, S. 20)	23
Abb. 2.12	Komplexitätsfalle bei individualisierten Produkten (Schuh, 2007; Eversheim und Schuh, 1999)	27
Abb. 2.13	Entwicklung der Steuergeräteanzahl in Kraftfahrzeugen am Beispiel Volkswagen (Braess und Seiffert, 2005, S. 596)	27
Abb. 2.14	Entwicklungs- und Servicezyklen in verschiedenen Branchen (Graf, 2005, S. 2)	28

Abb. 2.15 Verkürzung des Time-to-Market am Beispiel der Entwicklung von Diesel-Motoren (Jarratt et al., 2003, S. 48). 29

Abb. 2.16 Kosten aus Betreiber-/Herstellersicht (TCO) von **a** industriellen Pumpen und **b** Elektroantrieben (Dimmers, 2000; Bockskopf, 2007) 30

Abb. 2.17 Entwicklung der Energiepreise in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2007; Hesselbach et al., 2008). 31

Abb. 2.18 Globaler ökologischer Fußabdruck der Menschheit (WWF, 2006b, S. 2). 32

Abb. 2.19 Ursachen von Umweltproblemen (Kramer et al., 2003, S. 58). 33

Abb. 2.20 Weltweite Stahlproduktion 1950 bis 2007 in Mio. t und die zehn Länder mit der derzeit höchsten Stahlproduktion (USGS, 2009) 35

Abb. 2.21 Weltenergieverbrauch 1980 bis 2030 (IEA, 2008) 36

Abb. 2.22 Energieflussbild für die Bundesrepublik Deutschland in PJ (AGEB, 2008; Rebhan, 2002, S. 788). 37

Abb. 2.23 Tendenzen in der Güterverkehrsnachfrage und beim BIP (EEA, 2009a). 38

Abb. 2.24 Prognose zur Entwicklung der Kohlendioxidemissionen nach Regionen (IEA, 2007). 39

Abb. 2.25 Aufkommen an kommunalem Abfall in Europa (EEA, 2009b). 40

Abb. 2.26 Entsorgung von Elektronikschrott in Asien: **a** Belüftung von Bildröhren, **b** Offene Verbrennung von Kabeln (Roman und Pukett, 2002, S. 82). 41

Abb. 2.27 Business-as-usual-Szenario und ökologische Schulden (WWF, 2006a, S. 22). 42

Abb. 2.28 Anthropogener Einfluss auf die Umwelt nach Ehrlich/ Holdren und Commoner (Antes und Kirschten, 2007, S. 13). 42

Abb. 2.29 Ökologischer Fußabdruck nach durchschnittlichem nationalen Pro-Kopf-Einkommen, 1961–2003 (WWF, 2006a, S. 18). 43

Abb. 2.30 Zieldreieck der Nachhaltigen Entwicklung; in Anlehnung an (Ohlendorf, 2006, S. 1) 47

Abb. 2.31 Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung und Umsetzung in Vorschriften, Gesetze und Standards. 49

Abb. 2.32 Primärenergieverbrauch und Steigerung der Energieeffizienz in der EU bezogen auf Basisjahr 1971 (Europäische Kommission, 2006, S. 6). 53

Abb. 2.33 Entwicklung der Rohstoffproduktivität in Deutschland (UBA, 2007) 54

Abb. 2.34 Auswirkungen von Wettbewerb und Gesetzgebung auf Unternehmen (Mansour, 2006, S. 2) 59

Abb. 2.35 Verschiebung und Erweiterung der Kostenverantwortung von Unternehmen 60