

Markus Rager

Energieorientierte Produktionsplanung

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Markus Rager

Energieorientierte Produktionsplanung

Analyse, Konzeption und Umsetzung

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Axel Tuma

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

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

Dissertation Universität Augsburg, 2006

1. Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Frauke Schindler / Anita Wilke

Der Gabler Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.

www.gabler.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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.

Umschlaggestaltung: Regine Zimmer, Dipl.-Designerin, Frankfurt/Main

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8350-0987-5

Geleitwort

Durch steigende Preise auf den Primärenergiemärkten wächst der Druck auf Unternehmen Endenergieträger (z.B. elektrischer Strom, Erdgas, Heizöl) effizient einzusetzen. Daneben ergibt sich auch durch aktuelle Entwicklungen im Bereich der Umweltgesetzgebung eine Verpflichtung zur Senkung der Treibhausgasemissionen, die eine entsprechende Senkung des Endenergieeinsatzes bedingt. Analysiert man die wissenschaftliche Diskussion in diesem Bereich, werden in erster Linie technische Maßnahmen, wie etwa der Einsatz neuer Energieumwandlungsanlagen, thematisiert. Erst in letzter Zeit werden daneben auch organisatorische Maßnahmen vorgeschlagen.

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit ein wesentlicher Beitrag zur Integration von energieorientierten Aspekten in die betriebliche Produktionsplanung geleistet. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht dabei zunächst die Identifikation der Maschinenbelegungsplanung als geeigneter Ansatzpunkt für einen effizienten Endenergieeinsatz. Bemerkenswert ist die analytisch stringente Ableitung eines Zielsystems, das gleichermaßen technischen, betriebswirtschaftlichen und emissionsorientierten Kriterien Rechnung trägt und somit dem interdisziplinären Charakter der Problemstellung in hervorragender Weise entspricht.

In einem weiteren Schritt wird für das dem Produktionsplanungsproblem zugrundeliegende kombinatorische Optimierungsproblem eine zweistufige Lösungsheuristik vorgeschlagen. Diese basiert auf einer Zuordnung von Produktionsaufträgen zu einzelnen Produktionsanlagen und der daran anschließenden Planung der zeitlichen Abfolge der Produktionsaufträge auf Basis eines hybriden evolutionären Algorithmus. Besonders hervorzuheben ist, dass Herr Rager nicht nur ein umfassendes theoretisches Konzept entwirft, sondern dies auch an einem praktisch äußerst interessanten Anwendungsfall evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das von Herr Rager entwickelte Konzept zu einer signifikanten Einsparung an eingesetzten Endenergieträgern und einer damit verbundenen Reduktion von Kosten und Treibhausgasemissionen führt. Damit liefert das Konzept einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung der betriebswirtschaftlichen Forschung.

Ich wünsche der Schrift eine weite Verbreitung und Wirkung auf die Weiterentwicklung von Produktionsplanungsansätzen in Wissenschaft und Praxis.

Prof. Dr. Axel Tuma

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Produktions- und Umweltmanagement an der Universität Augsburg. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Personen bedanken, die mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt, inhaltlich beraten und mich zur rechten Zeit motiviert haben.

An erster Stelle danke ich Prof. Dr. Axel Tuma, der mich zur Promotion an seinem Lehrstuhl ermutigt und mir eine sehr interessante und lehrreiche Zeit an der Universität Augsburg ermöglicht hat. Insbesondere möchte ich mich bei ihm für die Förderung meiner wissenschaftlichen Arbeit und die vielen wertvollen Hinweise bedanken. Daneben gilt mein Dank auch Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie Prof. Dr. Marco C. Meier für die Bereitschaft, den Prüfungsvorsitz zu übernehmen.

Bedanken möchte ich mich auch beim gesamten Lehrstuhlteam für das sehr gute Arbeitsklima sowie für die Schaffung zeitlicher Freiräume, ohne die die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Besonderen Dank schulde ich meinem Kollegen und Freund Prof. Dr. Jürgen Friedl für die außergewöhnlich gute Zusammenarbeit während des gesamten Dissertationsprojekts. Unverzichtbar für diese Arbeit waren dabei seine wertvollen Anregungen in unzähligen Diskussionsrunden. Für das Korrekturlesen bedanke ich mich ganz herzlich bei Gudrun Hänig und Claudia Stegmann.

Ganz besonders möchte ich mich an dieser Stelle auch bei meiner Familie bedanken, die mir immer den notwendigen Rückhalt gegeben hat. Meine Eltern Johann und Lydia Rager sowie meine Brüder Johann, Thomas und Robert mit ihren Familien waren die unverzichtbare Stütze und boten mir die richtige Motivation zur rechten Zeit, dieses Projekt erfolgreich zu beenden. Schließlich wäre die Erstellung dieser Arbeit nicht ohne die bedingungslose Unterstützung meiner Freundin Kathrin möglich gewesen. Ihre Geduld und ihr Verständnis für die vielen Entbehrungen waren grenzenlos.

Markus Rager

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Geleitwort | V |
| Vorwort | VII |
| Inhaltsverzeichnis | IX |
| Abbildungsverzeichnis | XIII |
| Tabellenverzeichnis | XVII |
| Abkürzungsverzeichnis | XIX |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Ausgangslage | 1 |
| 1.2 Problemstellung..... | 5 |
| 1.3 Lösungsweg..... | 7 |
| 2 Konzeption einer energieorientierten Maschinenbelegungsplanung für identische parallele Maschinen | 9 |
| 2.1 Spezifikation des Anforderungsprofils..... | 9 |
| 2.1.1 Aufgaben einer energieorientierten Maschinenbelegungsplanung | 9 |
| 2.1.2 Zielsetzungen einer energieorientierten Maschinenbelegungsplanung..... | 13 |
| 2.2 Präzisierung des Zielsystems | 15 |
| 2.2.1 Abbildung der Produktion aus energieorientierter Sichtweise | 16 |
| 2.2.1.1 Energiebedarf des betrieblichen Leistungserstellungsprozesses..... | 16 |
| 2.2.1.2 Bestimmung des Einsatzenergieträgerbedarfs | 21 |
| 2.2.1.2.1 Maschinenbezogener Einsatzenergieträgerbedarf..... | 22 |
| 2.2.1.2.2 Auftragsbezogener Einsatzenergieträgerbedarf | 22 |
| 2.2.2 Einfluss des Einsatzenergieträgerbedarfs auf die Endenergieträgerkosten | 24 |
| 2.2.2.1 Leitungsgebundene Endenergieträger | 25 |
| 2.2.2.2 Endenergieträgereinsatz in Umwandlungsanlagen | 26 |
| 2.2.2.2.1 Dampferzeuger..... | 27 |
| 2.2.2.2.2 Kraft-Wärme-Kopplung | 31 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.2.3 | Ziele einer energieorientierten Maschinenbelegungsplanung..... | 32 |
| 2.2.3.1 | Minimierung der belegten Maschinen..... | 33 |
| 2.2.3.2 | Glättung des zeitlichen Verlaufs des Einsatzenergieträgerbedarfs | 33 |
| 3 | Klassifikation und Formulierung eines Entscheidungsmodells zur Konkretisierung des Konzepts | 35 |
| 3.1 | Definitionen und Begriffe | 35 |
| 3.2 | Klassifikation eines energieorientierten Maschinenbelegungsproblems für identische parallele Maschinen | 37 |
| 3.2.1 | Klassifizierung nach der Maschinenumgebung | 37 |
| 3.2.2 | Klassifizierung nach der Struktur der Produktionsaufträge | 37 |
| 3.2.3 | Klassifizierung nach dem Zielsystem..... | 39 |
| 3.3 | Formulierung eines Entscheidungsmodells auf Basis binärer Entscheidungsvariablen..... | 40 |
| 4 | Analyse und Entwurf von Methoden zur Umsetzung des Entscheidungsmodells..... | 43 |
| 4.1 | Problemzerlegung des Entscheidungsmodells | 43 |
| 4.1.1 | Eröffnungsverfahren..... | 45 |
| 4.1.2 | Verbesserungsverfahren | 48 |
| 4.2 | Mathematische Formulierung der Teilprobleme..... | 49 |
| 4.2.1 | Eröffnungsverfahren..... | 50 |
| 4.2.2 | Verbesserungsverfahren | 51 |
| 4.3 | Analyse von Methoden zur Umsetzung des Eröffnungsverfahrens | 52 |
| 4.3.1 | Literaturüberblick | 52 |
| 4.3.2 | Lösungsansatz auf Basis des LPT-Algorithmus..... | 55 |
| 4.4 | Analyse von Methoden zur Umsetzung des Verbesserungsverfahrens | 56 |
| 4.4.1 | Literaturüberblick..... | 56 |
| 4.4.2 | Analyse von Metaheuristiken..... | 61 |
| 4.4.2.1 | Verfahren auf Basis von lokaler Suche..... | 61 |
| 4.4.2.2 | Verfahren auf Basis von populationsbasierter Suche..... | 64 |
| 4.5 | Entwurf von Methoden zur Umsetzung des Verbesserungsverfahrens auf Basis Evolutionärer Algorithmen..... | 66 |
| 4.5.1 | Struktur eines Hybriden Evolutionären Algorithmus..... | 66 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.5.2 | Spezifikation des Hybriden Evolutionären Algorithmus | 70 |
| 4.5.2.1 | Repräsentation des Planungsproblems | 71 |
| 4.5.2.2 | Generierung einer Startpopulation | 75 |
| 4.5.2.3 | Populationsgröße und Abbruchkriterium | 77 |
| 4.5.2.4 | Selektion..... | 78 |
| 4.5.2.4.1 | Abbildung der Zielfunktion und Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung | 80 |
| 4.5.2.4.2 | Entnahme von Stichproben | 83 |
| 4.5.2.5 | Rekombination | 84 |
| 4.5.2.5.1 | Order crossover 2 (OX2)..... | 85 |
| 4.5.2.5.2 | Order crossover (OX)..... | 88 |
| 4.5.2.5.3 | Paritally mapped crossover (PMX)..... | 90 |
| 4.5.2.6 | Mutation | 92 |
| 4.5.2.6.1 | Swap Mutation | 93 |
| 4.5.2.6.2 | Insert Mutation | 94 |
| 4.5.2.6.3 | Scramble Mutation | 95 |
| 4.5.2.6.4 | Inversion Mutation | 95 |
| 4.5.2.7 | Entwicklung eines lokalen Suchverfahrens (peak-LS) | 97 |
| 5 | Evaluation der entwickelten Methoden zur Umsetzung einer energieorientierten Maschinenbelegungsplanung für identische parallele Maschinen..... | 101 |
| 5.1 | Analyse des betrachteten Produktionssystems | 101 |
| 5.1.1 | Bestimmung des auftragsabhängigen Einsatzenergieträgerbedarfs | 103 |
| 5.1.2 | Bestimmung des zeitlichen Verlaufs des Einsatzenergieträgerbedarfs | 106 |
| 5.1.3 | Simulation des betrieblichen Energieversorgungssystems..... | 107 |
| 5.2 | Spezifikation des Hybriden Evolutionären Algorithmus | 110 |
| 5.2.1 | Populationsgröße und Abbruchkriterium | 111 |
| 5.2.2 | Rekombination | 114 |
| 5.2.3 | Lokales Suchverfahren peak-LS | 115 |
| 5.3 | Quantifizierung der Einsparpotentiale | 120 |
| 6 | Zusammenfassung | 123 |
| | Literaturverzeichnis..... | 131 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------------|--|----|
| Abbildung 1-1: | Vereinfachte Struktur eines betrieblichen Energieversorgungssystems | 3 |
| Abbildung 2-1: | Kapazitätsorientiertes hierarchisches PPS-Konzept | 10 |
| Abbildung 2-2: | UPN-Modell betrieblicher Energieversorgungssysteme..... | 18 |
| Abbildung 2-3: | Energieorientierte Erweiterung des Input-Output-Modells | 20 |
| Abbildung 2-4: | Zeitlicher Verlauf des Einsatzenergieträgerbedarfs (eines Produktionsauftrags) | 23 |
| Abbildung 2-5: | Zeitlicher Verlauf des Einsatzenergieträgerbedarfs (mehrerer Produktionsaufträge)..... | 24 |
| Abbildung 2-6: | Leistungsmessungen als Grundlage für die Berechnung des Leistungspreises | 26 |
| Abbildung 2-7: | Verlauf einer Laständerung eines Dampferzeugers | 31 |
| Abbildung 2-8: | Verhalten des elektrischen Wirkungsgrads von Gasturbinenaggregaten..... | 32 |
| Abbildung 2-9: | Glättung des zeitlichen Verlaufs des Einsatzenergieträgerbedarfs | 34 |
| Abbildung 4-1: | Mögliches Ergebnis des Eröffnungsverfahrens bei optimaler Lösung des Bin-Packing-Problems | 45 |
| Abbildung 4-2: | Mögliches Ergebnis des Eröffnungsverfahrens bei optimaler Lösung des Bin-Packing-Problems (gleichmäßiges Verteilen von Pausenzeiten) | 46 |
| Abbildung 4-3: | Zusammenhang zwischen eindimensionalem Bin-Packing-Problem und $P_m C_{max}$ | 47 |
| Abbildung 4-4: | Ablauf des heuristischen Verfahrens zur Lösung eines energieorientierten Maschinenbelegungsproblems für identische parallele Maschinen | 49 |
| Abbildung 4-5: | LPT-Algorithmus | 55 |
| Abbildung 4-6: | Resource Levelling durch Verschieben einzelner Vorgänge | 59 |
| Abbildung 4-7: | Verschiebung einzelner Operationen und deren Auswirkung auf den kumulierten Einsatzenergieträgerbedarf | 60 |

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Abbildung 4-8: | Struktur eines Evolutionären Algorithmus | 67 |
| Abbildung 4-9: | Leistungsfähigkeit von Evolutionären Algorithmen..... | 68 |
| Abbildung 4-10: | Struktur eines Hybriden Evolutionären Algorithmus | 69 |
| Abbildung 4-11: | Rekombination durch 1-Punkt Crossover bei binärer Codierung..... | 72 |
| Abbildung 4-12: | Pausenaufträge innerhalb eines Maschinenbelegungsplans..... | 73 |
| Abbildung 4-13: | Decodierung eines Individuums in einen Maschinenbelegungsplan | 74 |
| Abbildung 4-14: | Rekombination durch 1-Punkt Crossover bei Permutationscodierung | 75 |
| Abbildung 4-15: | Typischer Verlauf einer Fitnessfunktion des jeweils besten Individuums einer Generation..... | 76 |
| Abbildung 4-16: | Generierung von Individuen der Startpopulation mittels Zufallszahlen..... | 76 |
| Abbildung 4-17: | Stochastic Universal Sampling (SUS) | 83 |
| Abbildung 4-18: | Anwendung von OX2 und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 87 |
| Abbildung 4-19: | Anwendung von OX und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 89 |
| Abbildung 4-20: | Anwendung von PMX und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 91 |
| Abbildung 4-21: | Anwendung von Swap Mutation und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 93 |
| Abbildung 4-22: | Anwendung von Insert Mutation und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 94 |
| Abbildung 4-23: | Anwendung von Scramble Mutation und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 95 |
| Abbildung 4-24: | Anwendung von Inversion Mutation und Auswirkungen auf die Anordnung der Produktions- bzw. Pausenaufträge..... | 96 |
| Abbildung 4-25: | Ablauf des lokalen Suchverfahrens peak-LS | 99 |
| Abbildung 4-26: | Beispiel für den Einsatz des lokalen Suchverfahrens peak-LS..... | 100 |
| Abbildung 5-1: | Struktur eines exemplarischen Produktionssystems aus der Textilveredelung | 102 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Abbildung 5-2: | Schematischer Aufbau eines (baugleichen) Einflammrohr-Rauchrohr-Dreizugkessels mit Economiser..... | 103 |
| Abbildung 5-3: | Zeit-Temperatur-Profil eines Reaktivfärbeverfahrens | 104 |
| Abbildung 5-4: | Einsatzenergeträgerbedarfsprofil eines Produktionsauftrags (Reaktivfärbeverfahren) | 105 |
| Abbildung 5-5: | Zeitlicher Verlauf des Einsatzenergeträgerbedarfs des betrachteten Referenzfalls | 107 |
| Abbildung 5-6: | Vereinfachte Taxonomie konventioneller Simulationsmethoden..... | 108 |
| Abbildung 5-7: | Modellübersetzung des betrieblichen Energieversorgungssystems mit der Simulationssoftware eM-Plant..... | 109 |
| Abbildung 5-8: | Typisches Konvergenzdiagramm zur Bestimmung des Abbruchkriteriums | 112 |
| Abbildung 5-9: | Typische Konvergenzdiagramme bei Variation der Populationsgröße ... | 114 |
| Abbildung 5-10: | Typische Konvergenzdiagramme bei Variation des Rekombinationsoperators..... | 115 |
| Abbildung 5-11: | Typische Konvergenzdiagramme mit bzw. ohne peak-LS..... | 116 |
| Abbildung 5-12: | Energieorientierter Maschinenbelegungsplan..... | 117 |
| Abbildung 5-13: | Zeitlicher Verlauf des Einsatzenergeträgerbedarfs..... | 118 |
| Abbildung 5-14: | Zielfunktionswerte bei unterschiedlichen Produktionsprogrammen | 119 |
| Abbildung 5-15: | Variationskoeffizienten bei unterschiedlichen Produktionsprogrammen..... | 120 |
| Abbildung 5-16: | Arbeitspreis Erdgas und Kohlendioxydmission in einer Planperiode in Abhängigkeit von der Anzahl der Produktionsaufträge..... | 121 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tabelle 4-1: | Fitnessproportionale Selektion..... | 81 |
| Tabelle 5-1: | Spezifikation des HEA zur Bestimmung der Populationsgröße und des Abbruchkriteriums | 111 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|--|
| CO ₂ | Kohlendioxyd |
| CPU | Central Processing Unit |
| CX | Cycle Crossover |
| EA | Evolutionäre Algorithmen |
| ER | Edge Recombination |
| EU-25 | Erweiterte Europäischen Union |
| FIFO | first in - first out |
| GE | Geldeinheiten |
| GRLP | General Resource Levelling Problem |
| HEA | Hybride Evolutionäre Algorithmen |
| LPT | largest processing time first |
| LS | lokale Suche |
| MPX | Maximal Preservative Crossover |
| MRP II | Manufacturing Resource Planning |
| MX | Merge Crossover |
| NP | non-deterministic polynomial |
| o.B.d.A. | ohne Beschränkung der Allgemeinheit |
| OX | Order Crossover |
| OX2 | Order Crossover 2 |
| PMX | Partially Mapped Crossover |
| PPS | Produktionsplanung und -steuerung |
| PS | populationsbasierte Suche |
| PX | Position Crossover |
| RCPSP | Resource Constraint Project Scheduling Problem |
| SA | Simulated Annealing |

| | |
|-----|---|
| SUS | Stochastic Universal Sampling |
| TS | Tabu Search |
| TSP | Travelling Salesman Problem |
| UPN | Umwandlungs-, Produktions- und Nebenanlagen |
| UX | Uniform Crossover |

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Eine Analyse der Rahmenbedingungen industrieller Produktionsprozesse zeigt, dass diese einerseits aufgrund einer verschärften Wettbewerbssituation innerhalb der globalen Märkte durch einen starken Druck zur Kostenreduktion geprägt sind. Andererseits ist aber gerade bei energieintensiven Industrien¹ im Bereich der betrieblichen Energieversorgung eine Steigerung der dort anfallenden Kosten für eingesetzte Endenergieträger² zu beobachten. Diese sind im Wesentlichen auf einen Anstieg der Rohstoffpreise für Primärenergieträger auf den internationalen Märkten zurückzuführen. So liegt etwa bei den Preisen für Rohöl ein Anstieg von ca. 11 USD je Barrel (Stand Sept. 1998) auf Spitzenpreise von bis zu 70 USD je Barrel (Stand Sept. 2005) vor. Seit der Liberalisierung der Energiemärkte Ende der neunziger Jahre beziehen sich Bemühungen unternehmerischen Handelns vorrangig auf die Verhandlung von Bezugspreisen für die eingesetzten Endenergieträger, wobei diese Kostensenkungspotentiale weitgehend ausgeschöpft sind [vgl. International Energy Agency 1999, Bonneschky 2002, S.1f]. Dementsprechend kann die Zielsetzung **möglichst geringer Kosten für die eingesetzten Endenergieträger** primär durch einen effizienten Einsatz der Endenergieträger realisiert werden.

Neben dieser angeführten (ökonomischen) Zielsetzung³ sind auch gesteigerte Anforderungen des Umweltschutzes im Bereich der betrieblichen Energieversorgung zu berücksichtigen, die aus der Umsetzung des Kyoto-Protokolls resultieren [vgl. etwa Oberthür/Ott 2002]. Durch das Kyoto-Protokoll soll der globale antropogene Temperaturanstieg mit Hilfe der Einführung verbindlicher Reduktionsmengen für Treibhausgasemissionen (z.B. CO₂) vermindert werden.

¹ Zu den energieintensiven Branchen zählen insbesondere die Eisen- und Stahlindustrie, die Nichteisen-Metallindustrie, die chemische Industrie, die Papierindustrie, die Textilindustrie, die Zement- und Baustoff-herzeugung, die Glas- und Keramikerstellung und Teile der Nahrungsmittel- und Genussmittelindustrie. Zu den erwarteten Wachstumsraten des Energieverbrauchs in diesen Branchen siehe beispielsweise [European Commission 2003, S. 49ff].

² In einer energiewirtschaftlichen Betrachtung lassen sich unterschiedliche Transformationsstufen von Energie unterscheiden. Als Primärenergie wird diejenige Energie bezeichnet, die aus den natürlich vorkommenden Primärenergieträgern (z.B. Rohöl, Kohle, Wasserkraft) zur Verfügung steht. Durch Umwandlung in Kraftwerken wird aus den Primärenergieträgern Endenergie (Sekundärenergie) gewonnen, die Haushalten oder Unternehmen in Form von Endenergieträgern (z.B. elektrischer Strom, Heizöl oder Erdgas) zur Verfügung gestellt wird [vgl. Wohinz/Moor 2004, S. 30].

³ Im Rahmen dieser Arbeit werden die Begriffe *Ziel* und *Zielvorstellung* gleichgesetzt. Zur Festlegung von Zielvorstellungen sind zunächst *Zielsetzungen* (z.B. Reduktion des Verbrauchs an eingesetzten Endenergieträgern) zu definieren. Durch eine geeignete Operationalisierung ergeben sich daraus entsprechende Ziel-funktionen auf Basis entsprechender Zielkriterien (z.B. Kosten), die in Verknüpfung mit einem Entsch-eidungskriterium (z.B. Extremierung in Form von Maximierung bzw. Minimierung, Satisfizierung, Fixierung [vgl. Kosiol 1968]) als Zielvorstellungen (z.B. Minimierung der Kosten) bezeichnet werden. Mehrere Ziel-vorstellungen werden dabei in einem *Zielsystem* zusammengefasst.