



Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik

Energieeffizienz aus betriebswirtschaftlicher Sicht – Herausforderungen und Lösungsansätze

Prof. Dr. Uwe Götze

30.05.2013

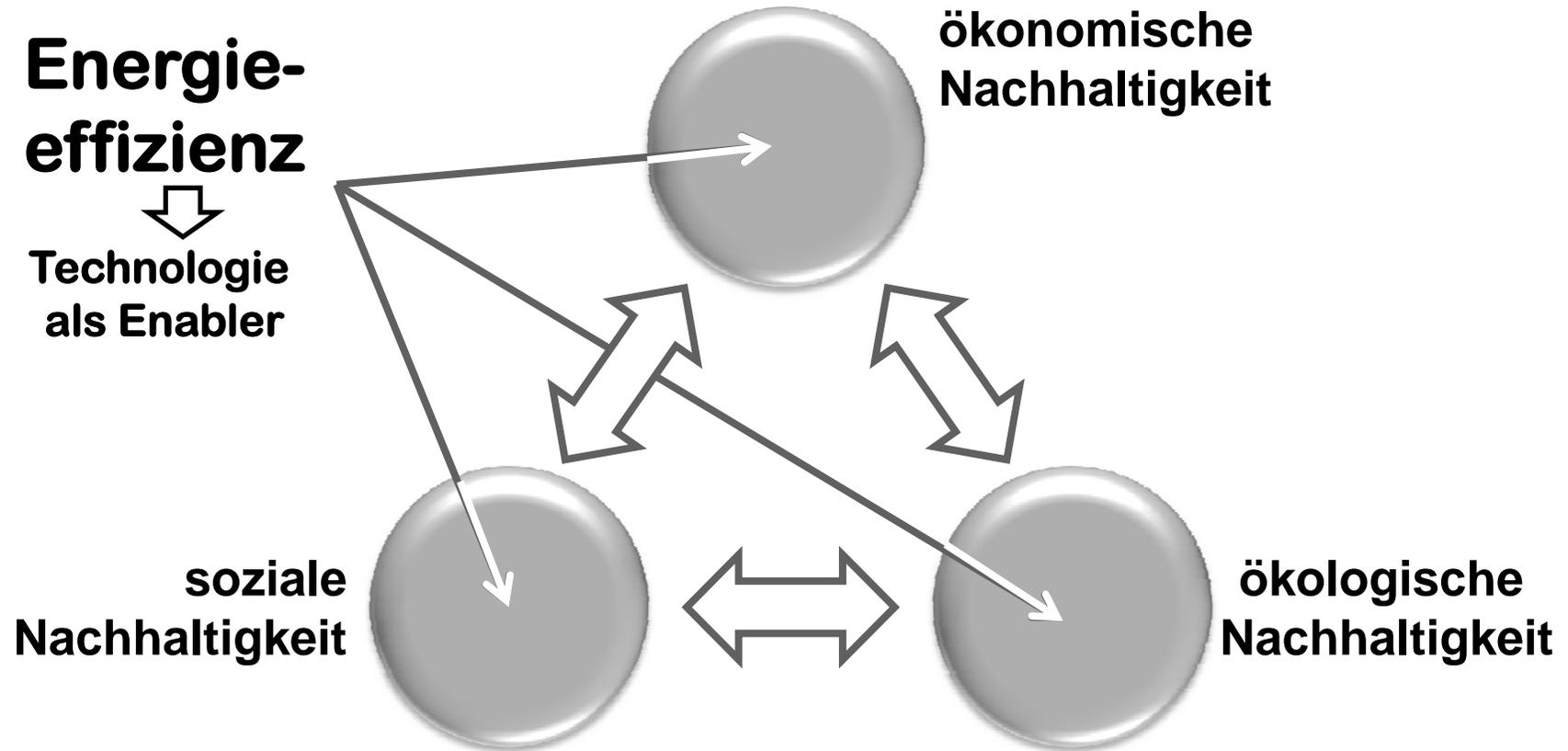


Agenda

1. Relevanz und Herausforderungen
2. Konzeptionelle betriebswirtschaftliche Grundlagen
3. Integrative Elemente
4. Ausgewählte Problemstellungen und Instrumente
 - 4.1 Ressourcenbewertung mit Life Cycle Costing
 - 4.2 Prozessanalyse und -bewertung mit Kostenmodellen und -rechnungen
 - 4.3 Produktgestaltung mittels Target Costing und Target Energy Management
5. Zusammenfassung und Ausblick

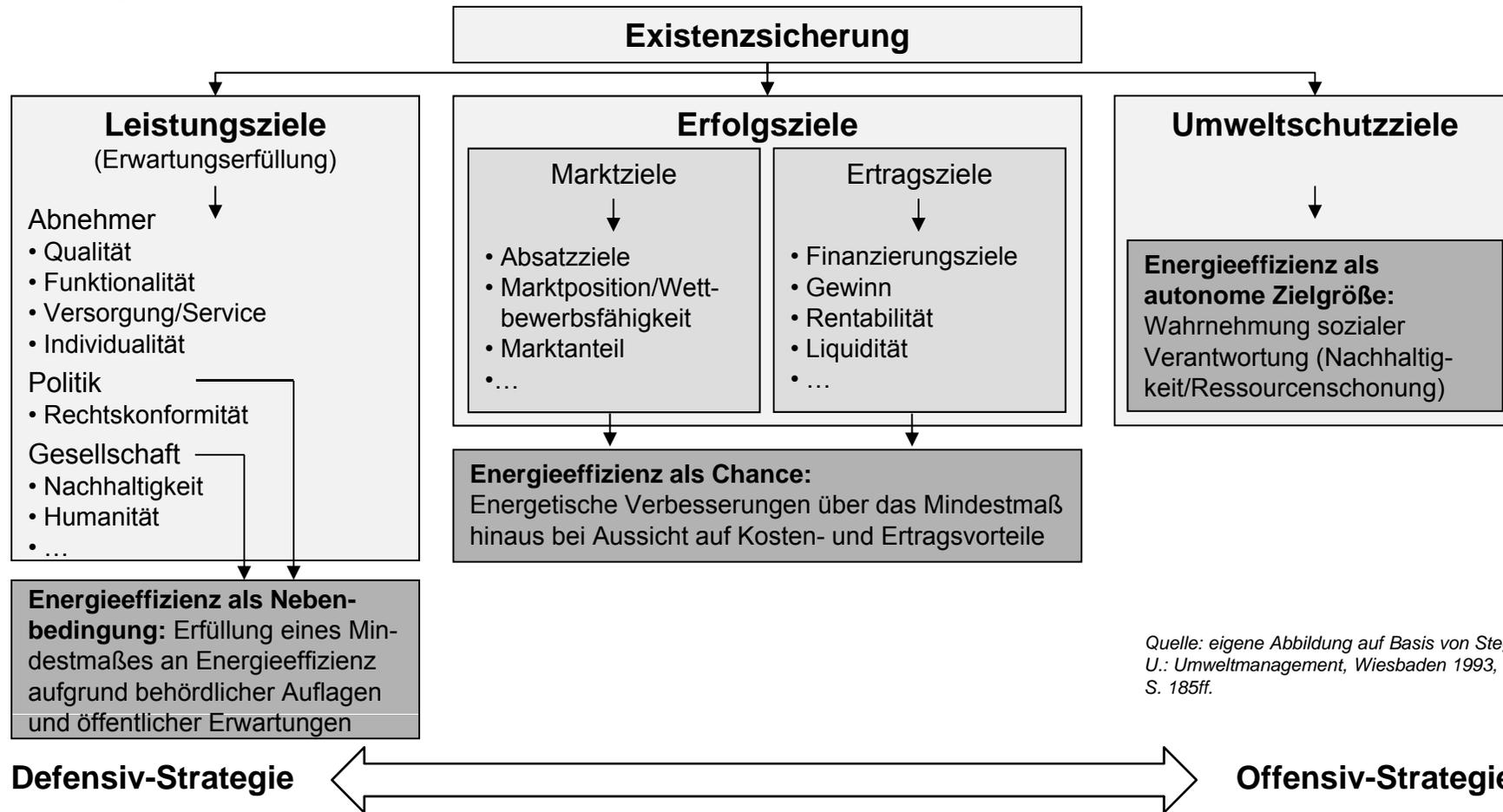
1. Relevanz und Herausforderungen

Energieeffizienz als Element der Nachhaltigkeit



1. Relevanz und Herausforderungen

Energieeffizienz im Zielsystem der Unternehmung



Quelle: eigene Abbildung auf Basis von Steger, U.: Umweltmanagement, Wiesbaden 1993, S. 185ff.

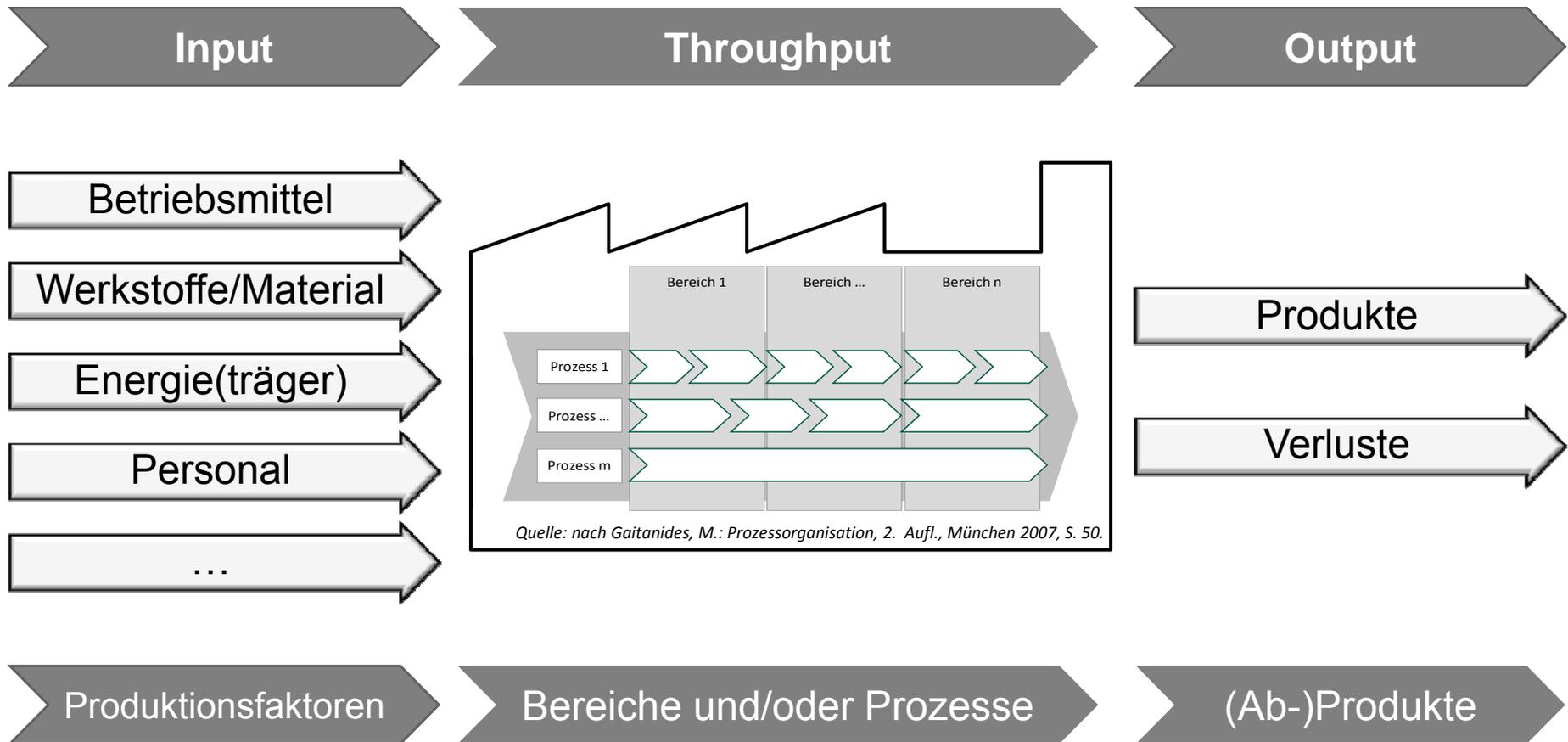
1. Relevanz und Herausforderungen

Herausforderungen

- „Energie“ als spezifischer Produktionsfaktor
- Zielbeziehungen: Wirtschaftlichkeit im Spannungsfeld mit technischen, ökologischen und sozialen Zielen
- Gestaltungsobjekte: Facettenreichtum, Komplexität und Verflechtungen
- Datengewinnung und -qualität
- Interdisziplinarität der Aufgabe

2. Konzeptionelle betriebswirtschaftliche Grundlagen

Objekte

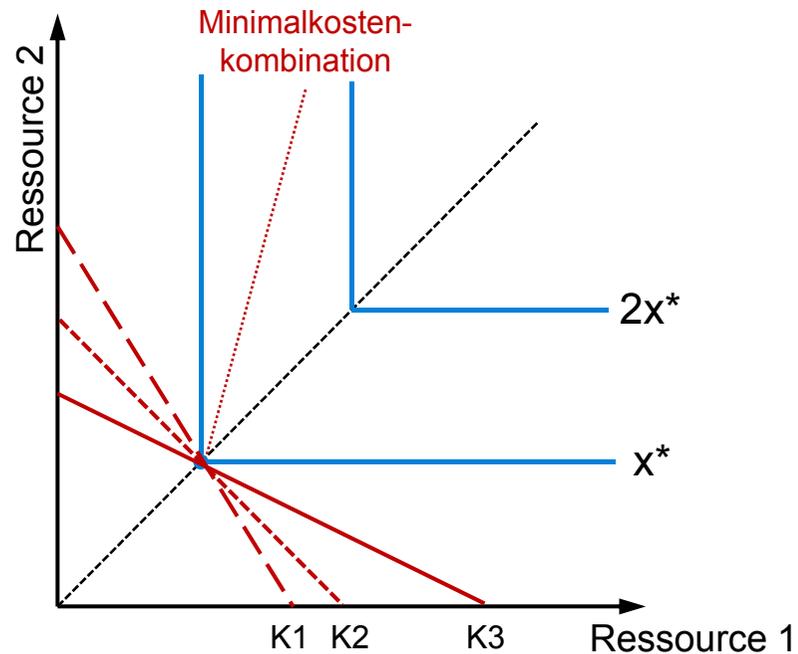


2. Konzeptionelle betriebswirtschaftliche Grundlagen

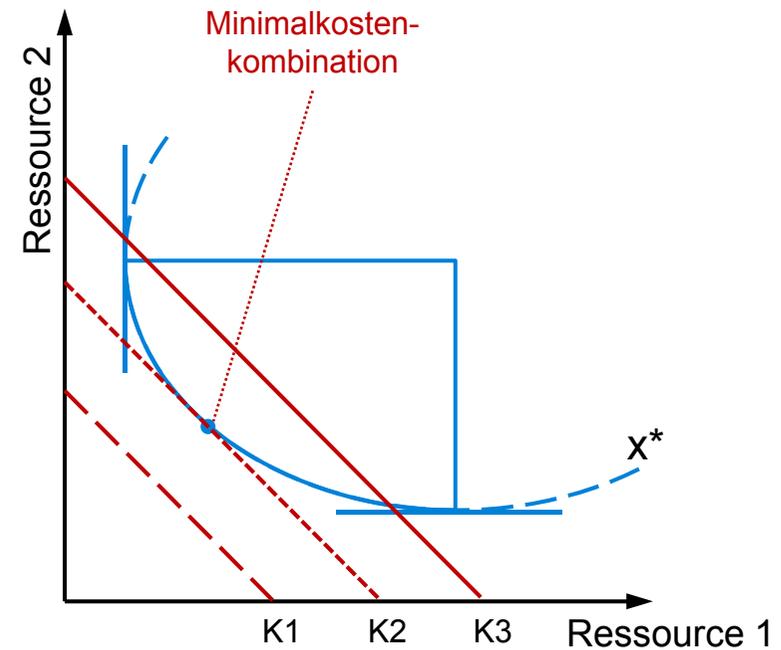
Maße und Kriterien für Ressourcen-/Energieeffizienz

Effizienz als Vermeiden von Verschwendung

Limitationaler Prozess



Substitutionaler Prozess



2. Konzeptionelle betriebswirtschaftliche Grundlagen

Maße und Kriterien für Ressourcen-/Energieeffizienz

Effizienz als Produktivität

- Verhältnis von Output zu faktorbezogenem Input
(thermodynamische, physikalisch-technische und Mischgrößen)

Effizienz als Wirtschaftlichkeit

- Verhältnis von (bewertetem) Output zu (bewertetem) faktorbezogenen Input
(monetäre und Mischgrößen)

Maßgrößen für den ökologischen Ressourceneinsatz (und für den Output)

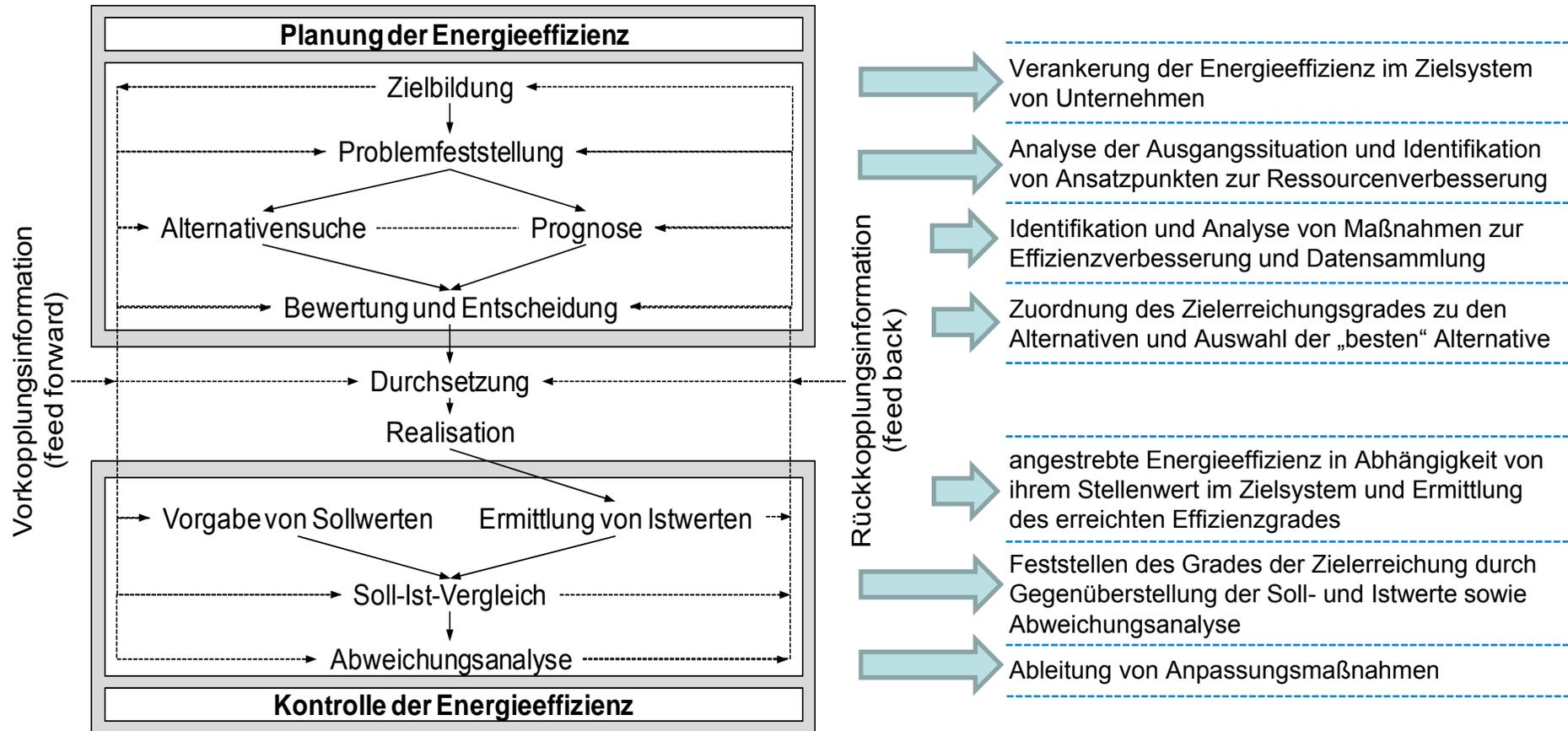
- Carbon Footprint
- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- ...

Maßgrößen für betriebswirtschaftliche Vorteilhaftigkeit

- Kosten, Gewinn bzw. Rentabilität
- Kapitalwert
- Amortisationszeit
- ...

2. Konzeptionelle betriebswirtschaftliche Grundlagen

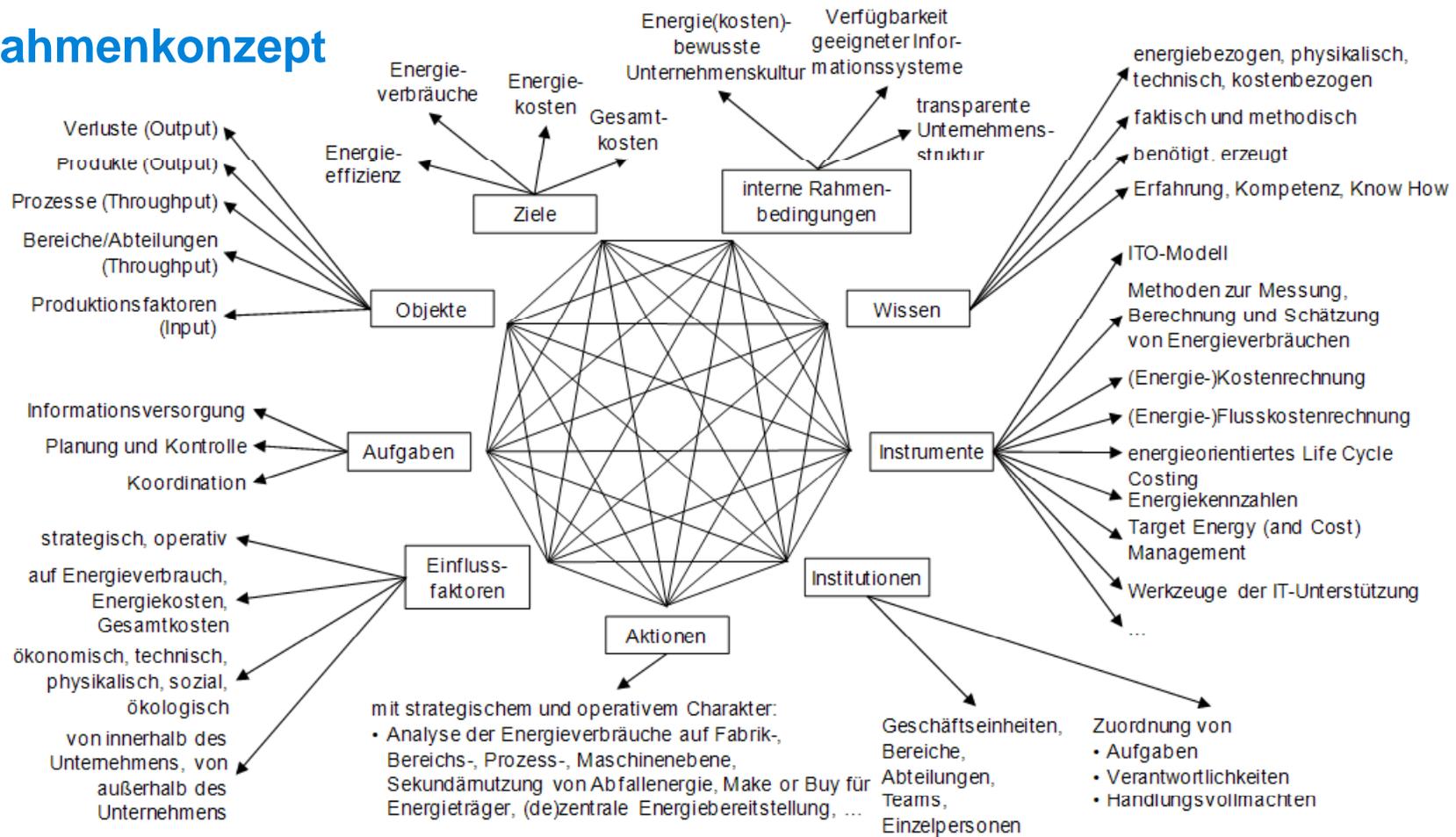
Managementregelkreis



Quelle: modifiziert übernommen aus Götze, U.: *Investitionsrechnung*, Berlin et al. 2007, S. 16; nach Schweitzer, M.: *Planung und Steuerung*, in: Bea, F.X.; Friedl, B.; Schweitzer, M. (Hrsg.): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, Bd. 2: *Führung*, 9. Aufl., Stuttgart 2001, S. 16 - 139.

2. Konzeptionelle betriebswirtschaftliche Grundlagen

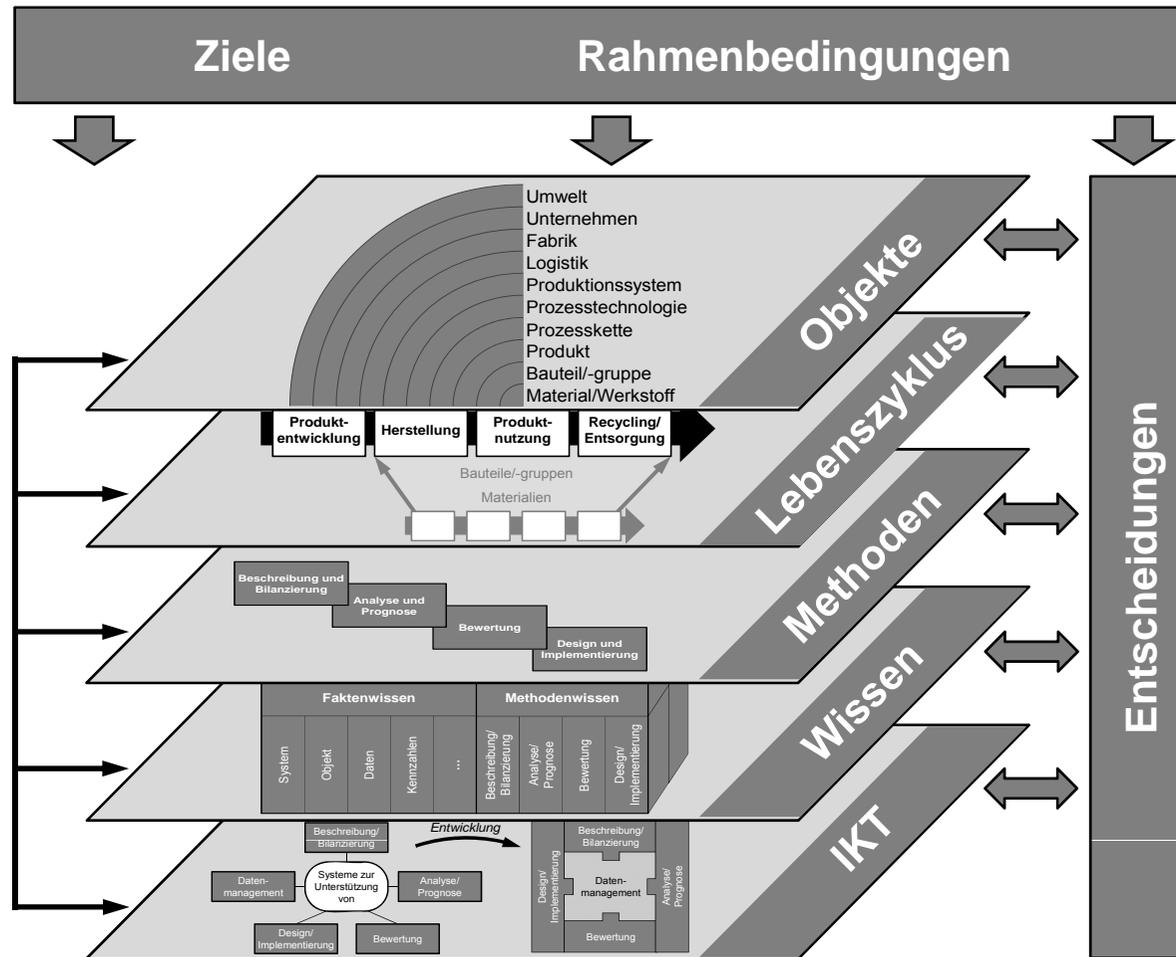
Rahmenkonzept



Quelle: modifiziert übernommen aus Bierer, A.; Götze, U.; Schubert, A.: Energy Efficiency and Cost Controlling – Implications for Powertrain Manufacturing, in: Neugebauer, R. (Hrsg.), Ressourceneffiziente Technologien für den Powertrain, Auerbach, 2012, S. 519–539, hier: S. 521.

3. Integrative Elemente

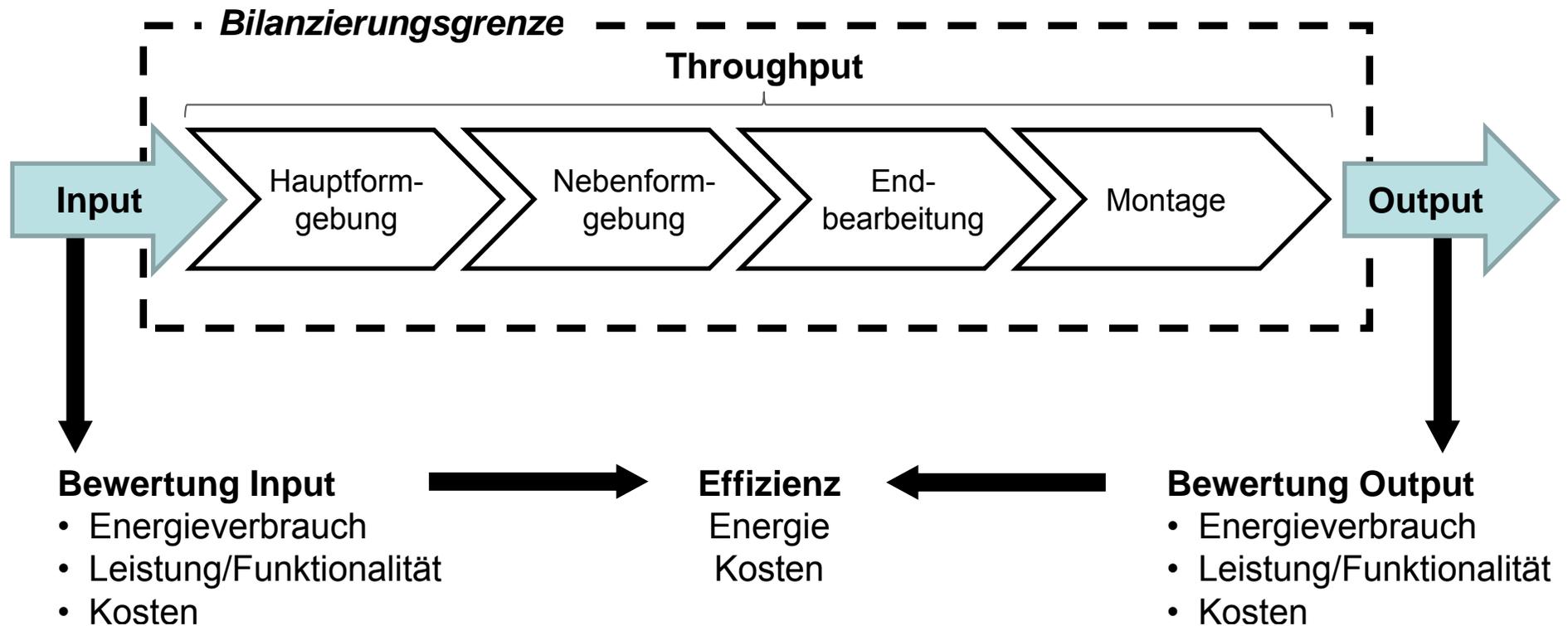
Sichtenmodell



Quelle: Neugebauer, R.; Götze, U.; Sygulla, R.: Sichtenmodell als Grundlage der energieeffizienzorientierten Bilanzierung, Bewertung und Gestaltung von Produktionsbereichen. In: Neugebauer, R. et al. (Hrsg.): Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD, Auerbach, 2013, S. 11–20, hier: S. 19.
 URN: [urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067](http://nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067)

3. Integrative Elemente

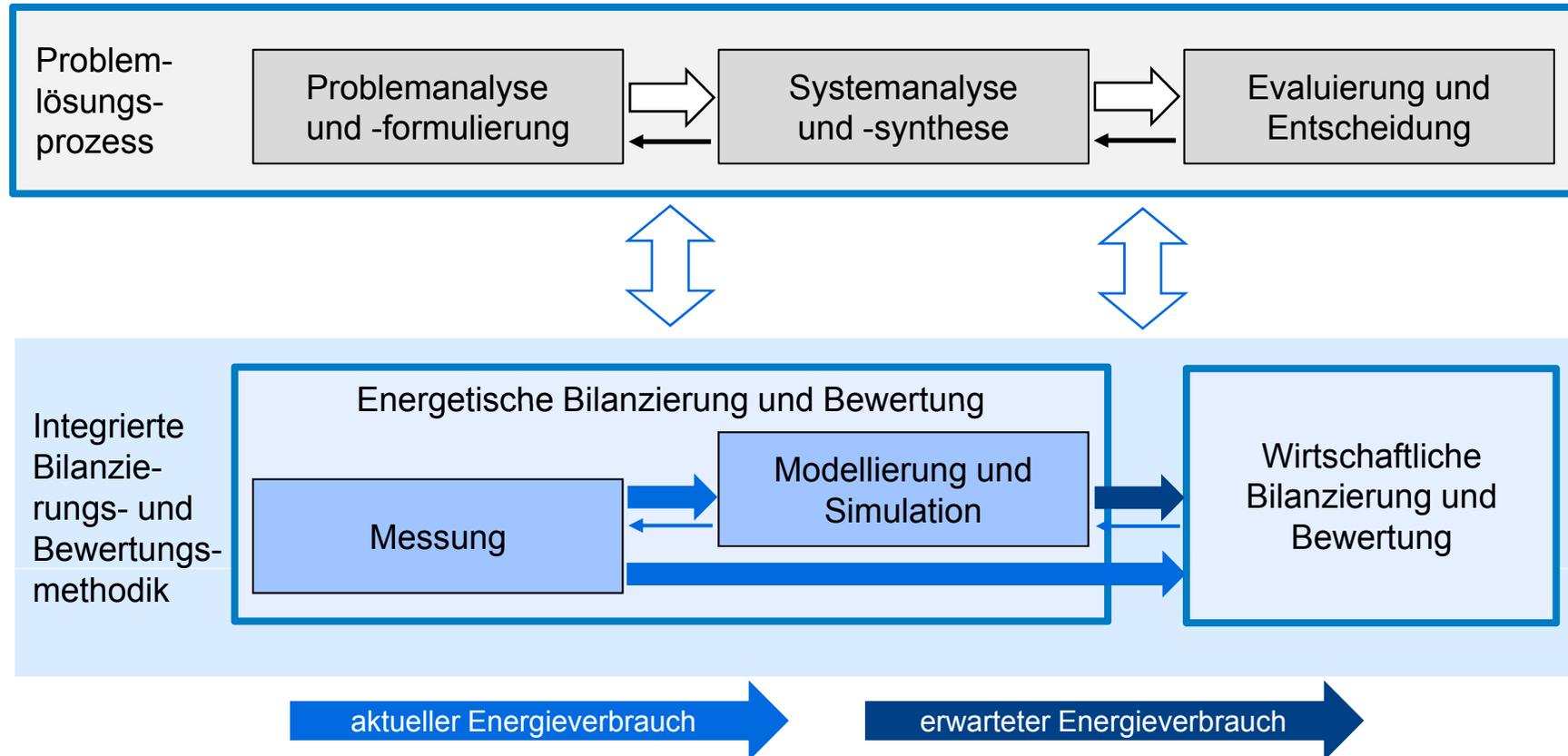
Input-Throughput-Output-Modell am Beispiel einer Prozesskette



Quelle: modifiziert übernommen aus Neugebauer, R.; Götz, U.; Paetzold, J.: Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme im Spitzentechnologiecluster eniPROD. In: Neugebauer, R. et al. (Hrsg.): Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD, Auerbach, 2013, S. 1–10, hier: S. 3. URN: <urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067>

3. Integrative Elemente

Integrierte Bilanzierung und Bewertung



Quelle: Neugebauer, R.; Götze, U.; Paetzold, J.: Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme im Spitzentechnologiecluster eniPROD. In: Neugebauer, R. et al. (Hrsg.): Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD, Auerbach, 2013, S. 1–10, hier: S. 9.
URN: [urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067](http://nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067)

13

3. Integrative Elemente

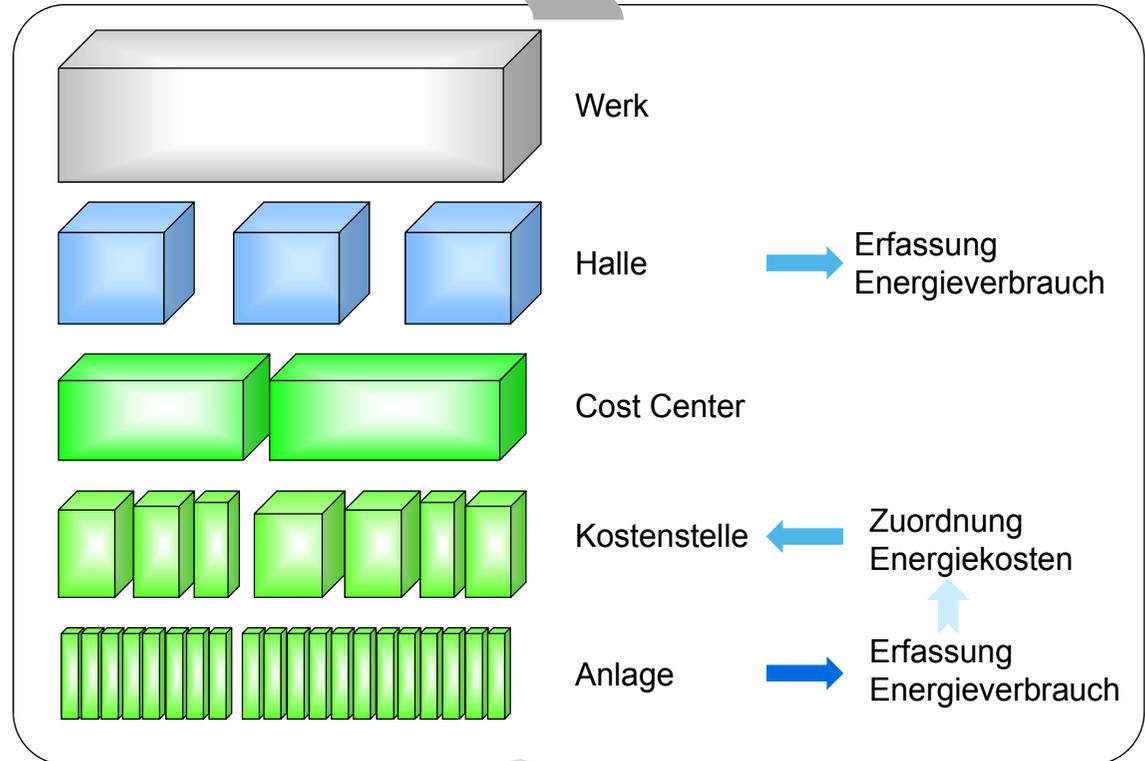
Erfassung von Energiedaten

Zukünftige Form der Erfassung

neue Rahmenbedingungen:

- Ressourcenverknappung → steigende Energiepreise (Energiekosten mit wachsender Bedeutung)
- Klimaziele des Staates (40% CO₂-Reduzierung 1990-2020)
- gesellschaftliches Bewusstsein für klimatische Folgen der Treibhausgasemission wächst stetig (Energieeffizienz als imagebildender Faktor)

Ziel: Energieeffiziente Produktion

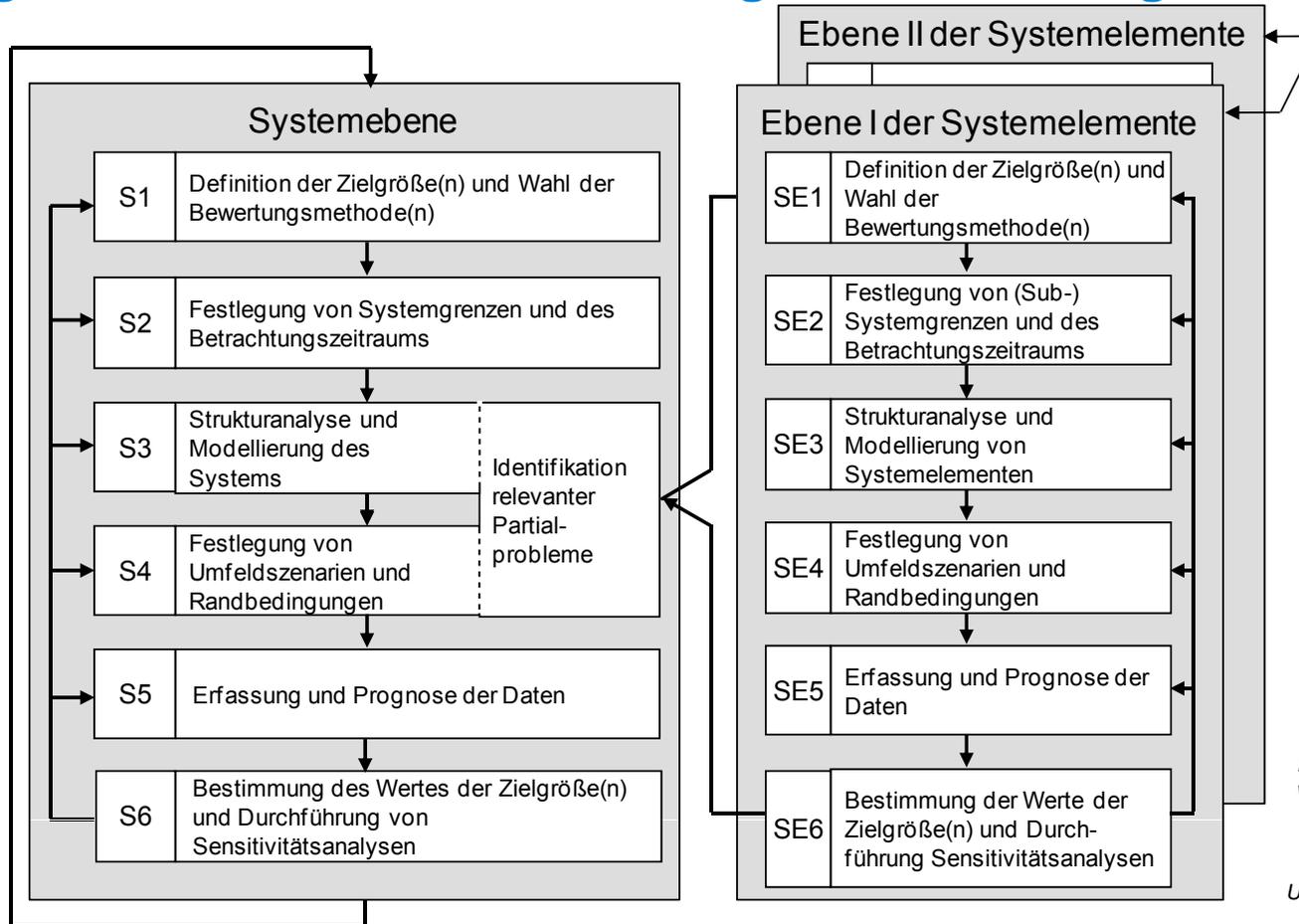


Quelle: Buschmann, M.: Bedeutung der Energiedatenerfassung für ein nachhaltiges Energiemanagement im Fabrikbetrieb. Fachvortrag im Rahmen der 4. Fachtagung „Energieeffiziente Fabrik in der Automobil-Produktion“ am 08. und 09. Februar 2011 in München

14

3. Integrative Elemente

Vorgehensmodell zur Bilanzierung und Bewertung



Quelle: modifiziert übernommen aus Neugebauer, R.; Götze, U.; Paetzold, J.: *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme im Spitzentechnologiecluster eniPROD*. In: Neugebauer, R. et al. (Hrsg.): *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD*, Auerbach, 2013, S. 1–10, hier: S. 6.
 URN: [urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067](http://nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067)

4. Ausgewählte Problemstellungen und Instrumente

Einordnung wichtiger Instrumente

Kriterium	Ausprägungen			
Fokus	Beschreibung und Bilanzierung	Analyse und Prognose	Bewertung	Design und Implementierung
Anwendungsbereich: <i>Objekt</i>	Werkstoffe	Produkte	Prozesse/Logistik	Produktionssysteme
Anwendungsbereich: <i>Lebenszyklusphase</i>	Produktentwicklung	Herstellung	Produktnutzung	Recycling/Entsorgung
Betrachtungszeitraum	periodenbezogen		periodenübergreifend	
Modellcharakter	mathematisch		nicht-mathematisch	
Zielgröße	ökonomisch		ökonomisch und technisch/ökologisch/sozial	

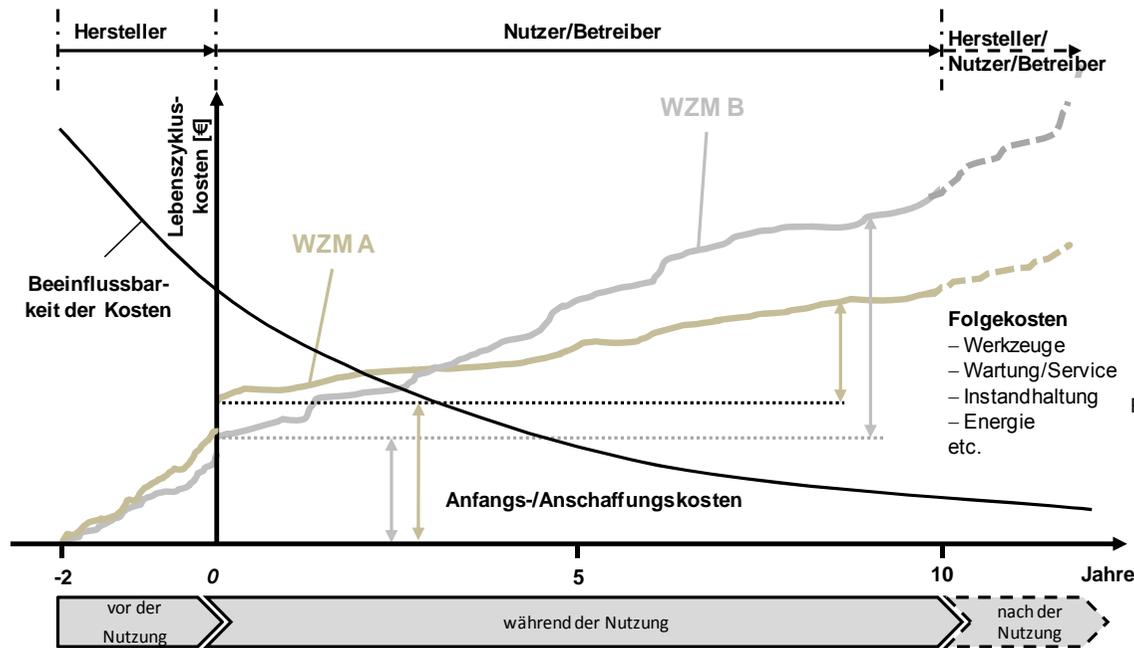
Energiebezogenes
Target Costing

Flusskosten-
rechnung

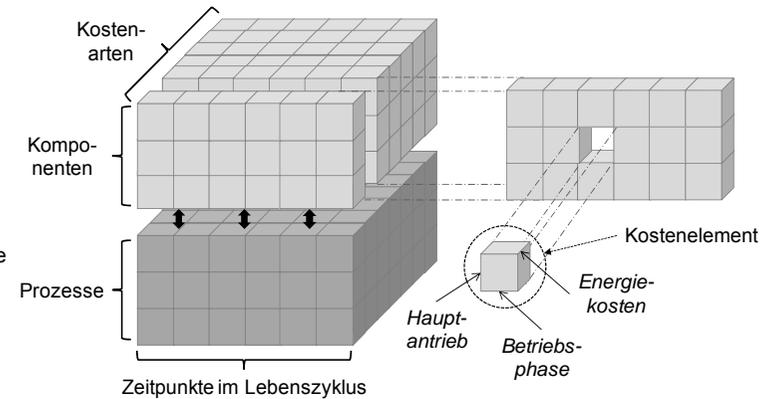
Life Cycle
Costing

4.1 Ressourcenbewertung mit Life Cycle Costing

Energiebezogenes Life Cycle Costing



Quelle: modifiziert übernommen aus: Denkena, B. et al.: Life-cycle oriented development of machine tools. In: Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven/Belgien, Leuven 2006, S. 693–698, hier: S. 694.

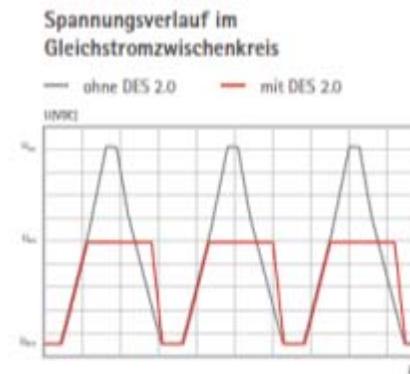
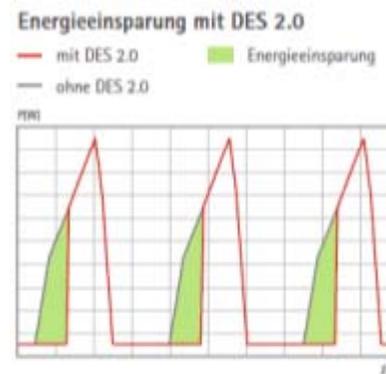


Quelle: modifiziert übernommen aus: DIN EN 60300-3-3: Zuverlässigkeitsmanagement Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten, Beuth Verlag, Berlin, 2006, S. 14.

4.1 Ressourcenbewertung mit Life Cycle Costing

Anwendungsbeispiel: LCC für Bremsenergiespeicher

- **Aufgabe:** Analyse und Bewertung Energieeinsparpotential
- **Daten:**
 - Anschaffungskosten des Speichers, Strompreis(komponenten)
 - Stromverbrauch, Leistungswerte, Beschleunigung, etc.
 - weitere Annahmen: 10 Jahre Nutzungsdauer, Zinssatz = 10 %; Preissteigerungsrate Strom = 3 %



Quelle: Götze, U. et al.: Integrated methodology for the evaluation of the energy- and cost-effectiveness of machine tools. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 5 (2012) 3, S. 151–163.

http://www.bremsenergie.de/fileadmin/bremsenergie/downloads/Datenblatt_Dynamischer_Energiespeicher_DES_MichaelKochGmbH.pdf

18

4.1 Ressourcenbewertung mit Life Cycle Costing

Anwendungsbeispiel: LCC für Bremsenergiespeicher

- **Lösung:**
 - **Technisch-energetische Vorteilhaftigkeit:**
 - Einsparung aus Verbrauchsreduzierung: 1.734 kWh/a
 - Einsparung Jahresleistung: 0,0463 kW/a
 - **Ökonomische Vorteilhaftigkeit:**
Komponenten der Kosteneinsparungen:

$$EZ_t = \Delta E_t \cdot p_{\text{Arbeit}} + \Delta P_t \cdot p_{\text{Leistung}}$$

EZ_t	= Energiezahlungen im Zeitpunkt t
ΔE_t	= Reduzierung Energieverbrauch im Zeitpunkt t
ΔP_t	= Reduzierung Leistungsbedarf im Zeitpunkt t
p_{Arbeit}	= Arbeitspreis pro kWh
p_{Leistung}	= Leistungspreis pro Jahr

Quelle: Götze, U. et al.: Integrated methodology for the evaluation of the energy- and cost-effectiveness of machine tools. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 5 (2012) 3, S. 151–163.

19

4.1 Ressourcenbewertung mit Life Cycle Costing

Anwendungsbeispiel: LCC für Bremsenergiespeicher

- Lösung:
 - Ökonomische Vorteilhaftigkeit:
Kapitalwertberechnung

$$KW = -6.000 + \sum_{i=1}^{10} \frac{1.734 \text{ kWh} \cdot [0,10 \text{ €/kWh} \cdot (1+0,03)]^t + 0,0463 \text{ kW} \cdot [100 \text{ €/kW a} \cdot (1+0,03)]^t}{(1+0,10)^t} = -4.738 \text{ €}$$



$\Delta E < 0$

$KW < 0$

\Rightarrow **Maßnahme energetisch vorteilhaft**

\Rightarrow **Maßnahme ökonomisch nicht vorteilhaft**

Quelle: Götze, U. et al.: Integrated methodology for the evaluation of the energy- and cost-effectiveness of machine tools. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 5 (2012) 3, S. 151–163.

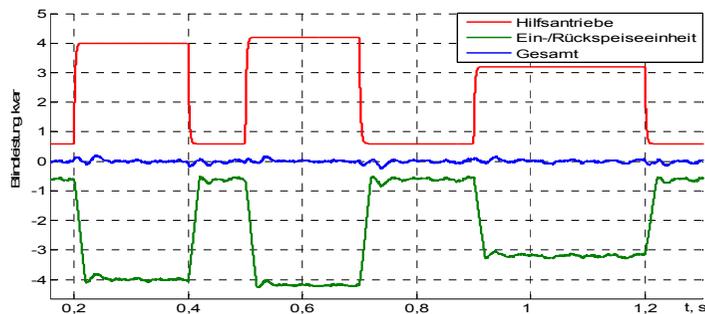
20

4.1 Ressourcenbewertung mit Life Cycle Costing

Anwendungsbeispiele: LCC für Ein-/Rückspeisemodule (links) und drehzahlgeregelte Elektromotoren (rechts)

Aufgabe/Zielstellung:

Bewertung der Blindleistung(-skosten)



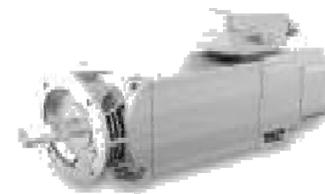
Lösung:

- **Technisch-energetische Vorteilhaftigkeit:** 19.800 kVarh Blindarbeitseinsparung
- **Ökonomische Vorteilhaftigkeit:** **+1.204 €**

$\Delta E_{\text{blind}} < 0 \Rightarrow$ **energetisch vorteilhaft**
 $KW > 0 \Rightarrow$ **ökonomisch vorteilhaft**

Aufgabe/Zielstellung:

Bewertung des Energieverbrauchs



<http://www.automation.siemens.com/mcms/mc/de/motoren/motion-control-motor/hauptmotor-simotics-m/simotics-m-1ph8/Seiten/simotics-m-1ph8.aspx>

Lösung:

- **Technisch-energetische Vorteilhaftigkeit:** 2.155 kWh Stromeinsparung
- **Ökonomische Vorteilhaftigkeit:** **+263,09 €**

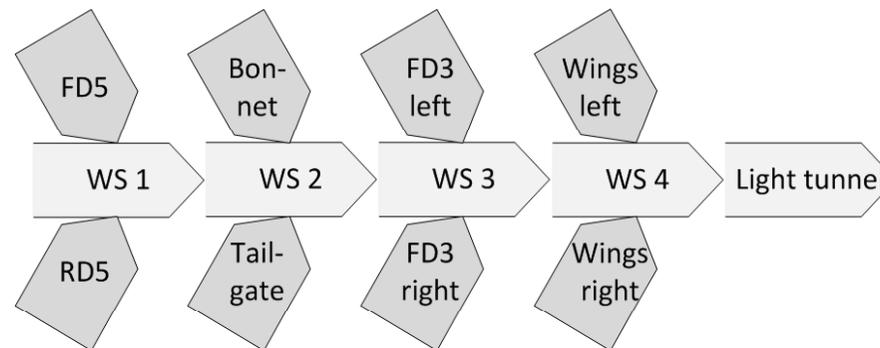
$\Delta E < 0 \Rightarrow$ **energetisch vorteilhaft**
 $KW > 0 \Rightarrow$ **ökonomisch vorteilhaft**

21

Kostenmodell für eine energiesensitive Fertigungssteuerung

Objekt und Ansatz

- Beispielhaft betrachtete Karosseriefertigung
- Simulation einer “eniKanban-Strategie” und ihrer Stellhebel (Lagerkapazität, Sicherheitsbestand)



Ergebnisse

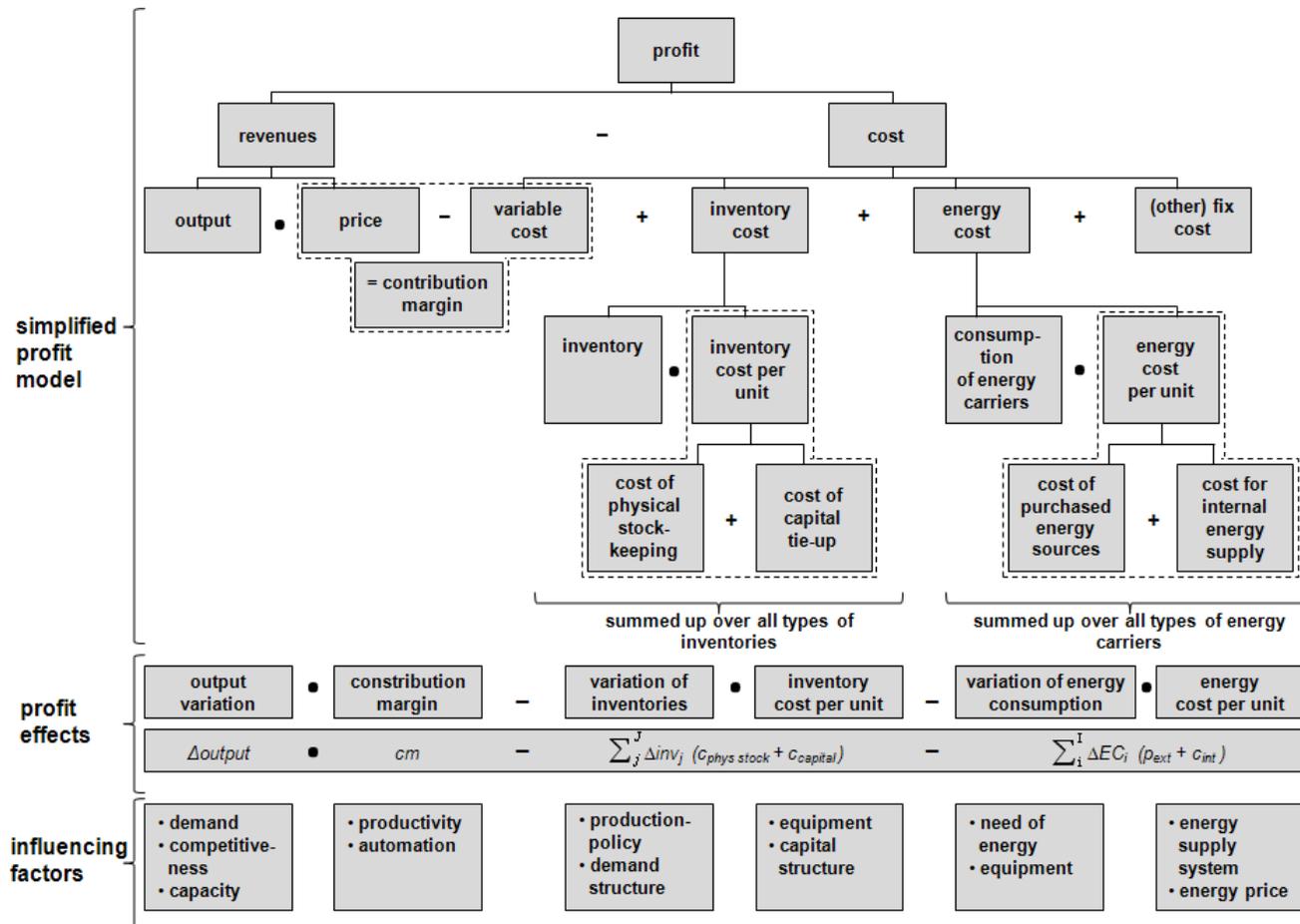
- Reduktion von Energieverbräuchen um bis zu 15 %
- Tendenziell erhöhte Bestände, leicht verringerter Output
- Wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit?

Quelle: Putz, M.; Götze, U.; Stoldt, J.; Franz, E.: Fostering energy efficiency by way of a techno-economic framework, angenommen für : 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 23-25 September 2013, Berlin, Germany

22

4.2 Prozessanalyse und -bewertung mit Kostenmodellen und -rechnungen

Gewinnmodell für eine energiesensitive Fertigungssteuerung



Quelle: Putz, M.; Götze, U.; Stoldt, J.; Franz, E.: Fostering energy efficiency by way of a techno-economic framework, angenommen für: 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 23-25 September 2013, Berlin, Germany

4.2 Prozessanalyse und -bewertung mit Kostenmodellen und -rechnungen

Material- und Energieflusskostenrechnung

Ziele

- Identifikation von kostenintensiven Material- und Energieineffizienzen
- Beitrag zur nachhaltigen Unternehmensführung und -gestaltung

Charakteristika

- ökologisch intendierter Ansatz zur Kostenrechnung
- flussorientierter Ansatz zur Kostenrechnung
- erwünschte und unerwünschte Material- und Energieflüsse

Aufgabenstellung

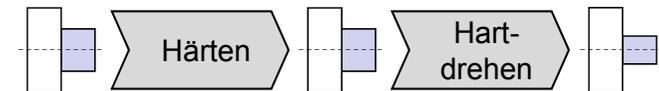
- vergleichende Analyse und Bewertung der material- und energiebezogenen Ressourceneffizienz aus ökonomischer Sicht

Fertigungsprozesskette

bisherige Prozesskette



neue Prozesskette

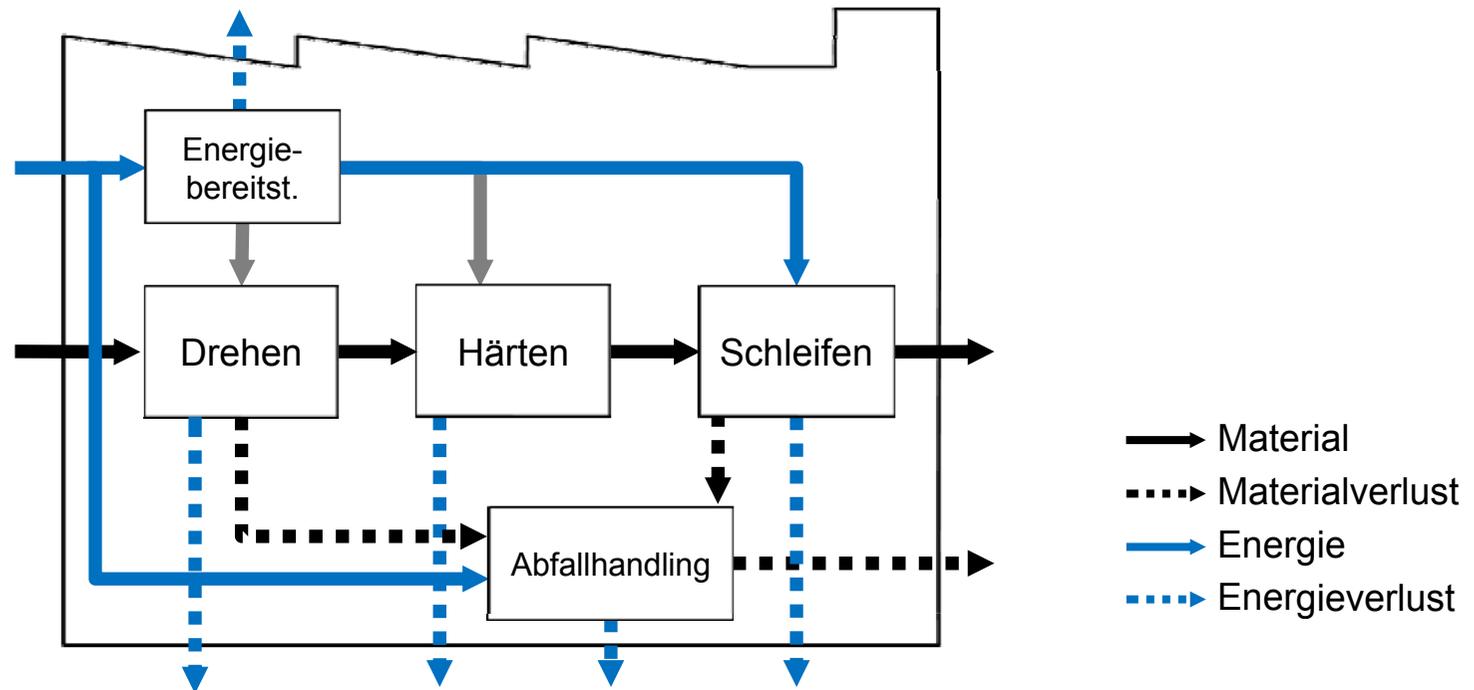


24

Material- und Energieflusskostenrechnung

Grundprinzip

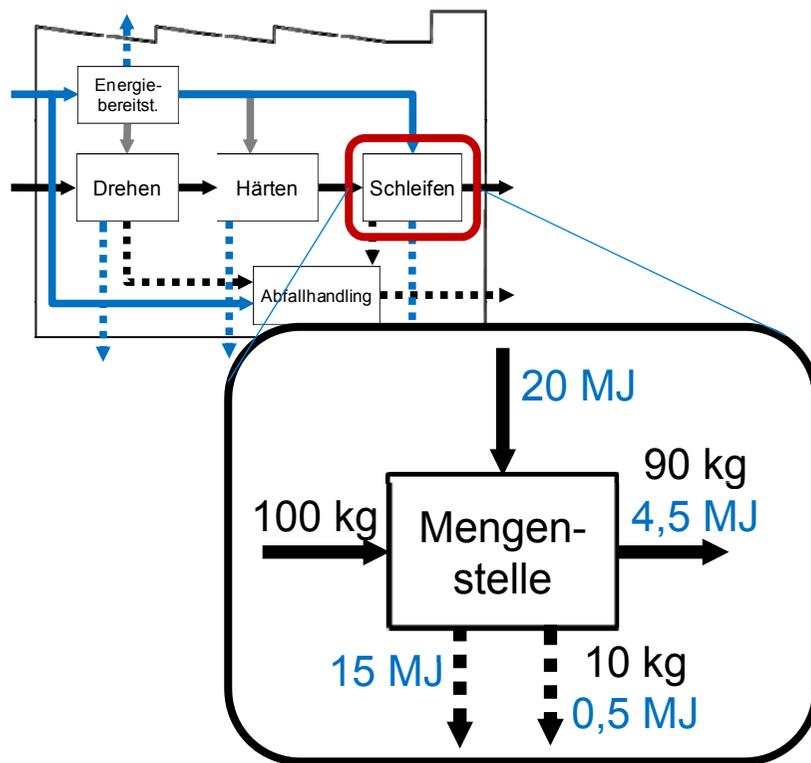
(1) Modellierung der Flussstruktur



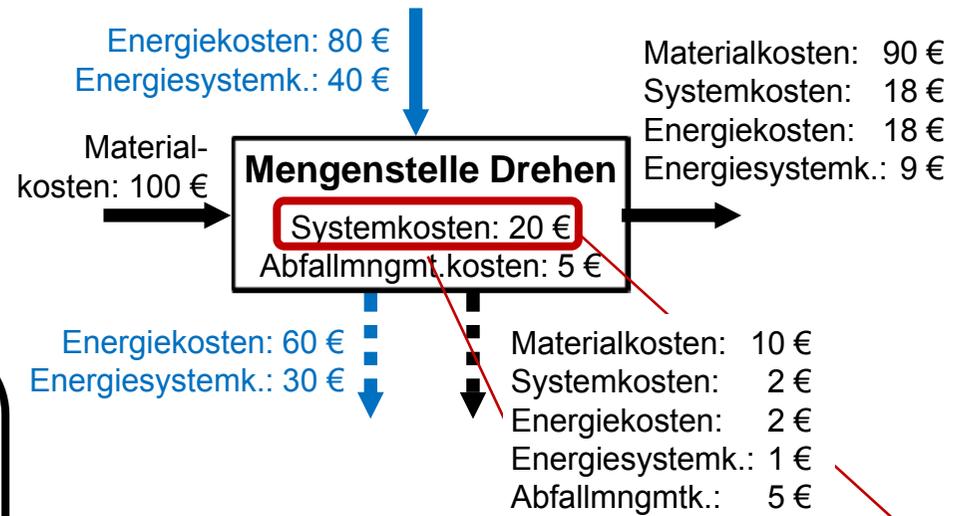
Material- und Energieflusskostenrechnung

Grundprinzip

(2) Quantifizierung der Flussmengen



(3) Bewertung der Flussmengen



- Abschreibungen
- kalkulat. Zinsen
- Personalkosten
- Werkzeugkosten
- ...

4.2 Prozessanalyse und -bewertung mit Kostenmodellen und -rechnungen

Material- und Energieflusskostenrechnung

Ergebnis der Ressourcenanalyse

Fertigungsmenge: 200.000 Stück/Jahr

bisherige Prozesskette

Kosten Produkt

Materialkosten	287.602,44 [€/Jahr]
Systemkosten	124.356,60 [€/Jahr]
Energiekosten	2.640,58 [€/Jahr]
energiebez. Systemkosten	219,26 [€/Jahr]

Gesamtkosten Produkt 414.818,88 [€/Jahr]

Kosten Materialverlust

Materialkosten	103.191,49 [€/Jahr]
<i>darin enthalten Anteil KSS</i>	88.000,00 [€/Jahr]
Systemkosten	2.837,07 [€/Jahr]
Energiekosten	22,99 [€/Jahr]
energiebez. Systemkosten	1,91 [€/Jahr]

Gesamtkosten Materialverlust 106.053,45 [€/Jahr]

Kosten „Energieverluste“

Energiekosten	1.484,40 [€/Jahr]
energiebez. Systemkosten	2.478,65 [€/Jahr]

Gesamtkosten „Energieverluste“ 3.963,05 [€/Jahr]

neue Prozesskette

Kosten Produkt

Materialkosten	287.602,44 [€/Jahr]
Systemkosten	92.438,54 [€/Jahr]
Energiekosten	2.555,51 [€/Jahr]
energiebez. Systemkosten	211,43 [€/Jahr]

Gesamtkosten Produkt 382.807,92 [€/Jahr]

Kosten Materialverlust

Materialkosten	3.668,40 [€/Jahr]
Systemkosten	1.179,06 [€/Jahr]
Energiekosten	32,60 [€/Jahr]
energiebez. Systemkosten	2,70 [€/Jahr]

Gesamtkosten Materialverlust 4.882,75 [€/Jahr]

Kosten „Energieverluste“

Energiekosten	1.191,95 [€/Jahr]
energiebez. Systemkosten	2.661,08 [€/Jahr]

Gesamtkosten „Energieverluste“ 3.853,04 [€/Jahr]

Quelle: Götz, U.; Schubert, A.; Bierer, A.; Goller, S.; Sygulla, R.: Material- und Energieflussanalyse – Methodik zur Optimierung von Prozessen und Prozessketten. In: Neugebauer, R. (Hrsg.), Ressourcen- effiziente Technologien für den Powertrain, Auerbach, 2012, S. 99–128, hier: S. 123.

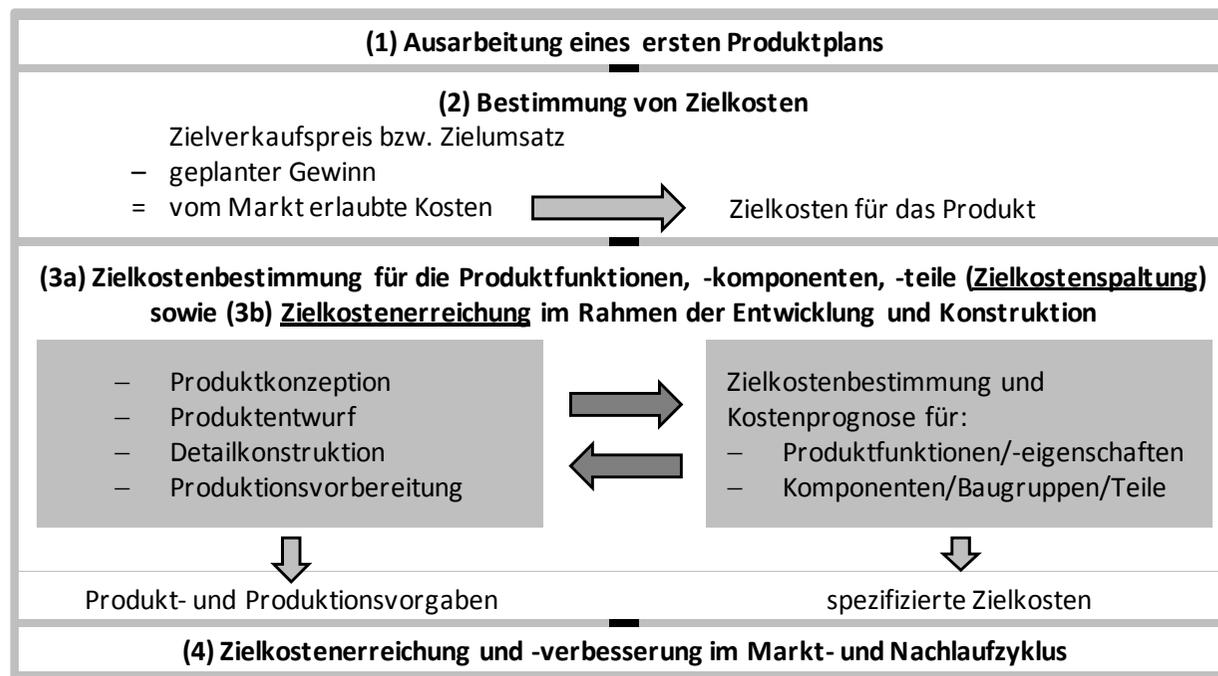
27

4.3 Produktgestaltung mittels Target Costing und Target Energy Management

Target Costing ist ...

... ein interdisziplinäres Kostenmanagementinstrument, welches bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung eine Reduzierung der Gesamtkosten eines Produkts entlang seines gesamten Lebenszyklusses unterstützt

Quelle: Sakurai, M.: Target Costing and how to use it. In: JCM 3 (1989) 2, S. 39–50, hier: S. 41.

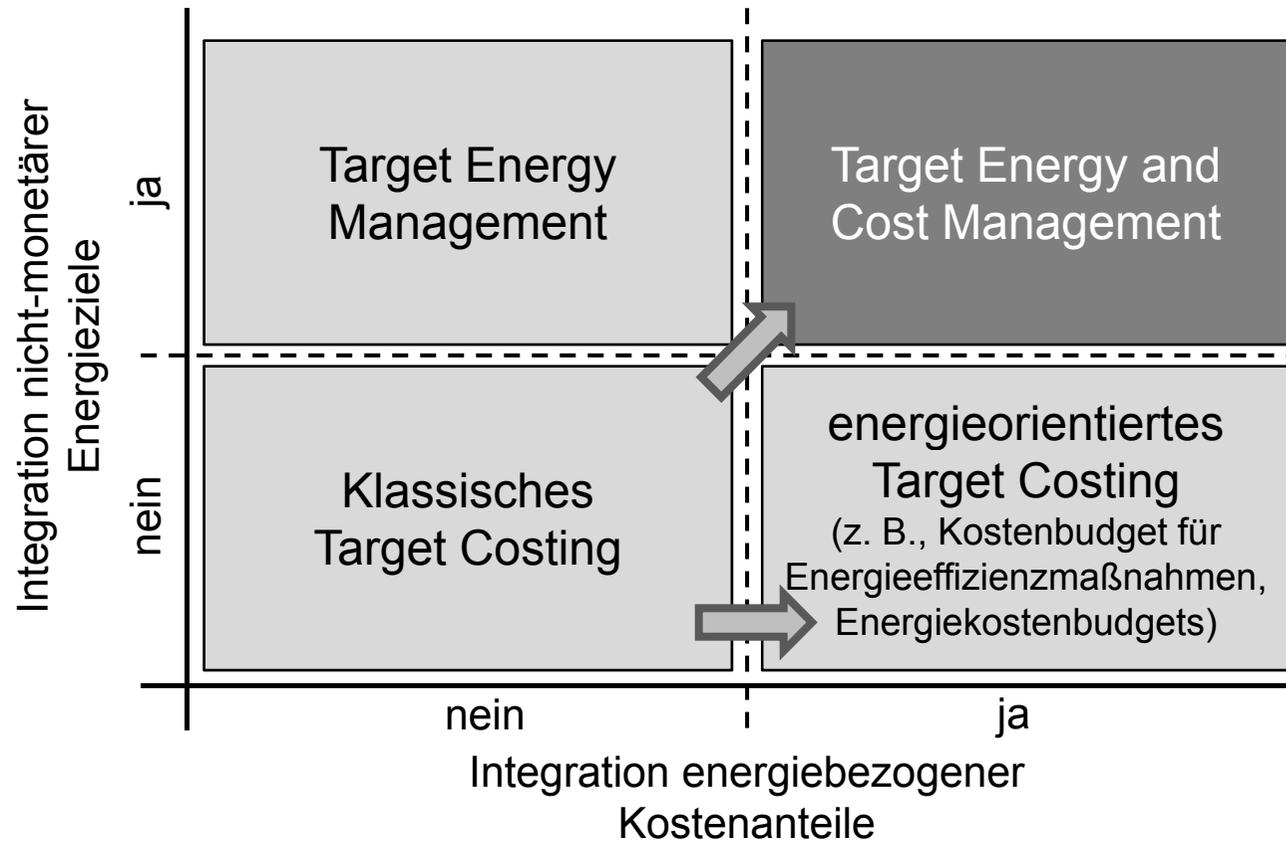


Quelle: Götze, U.; Linke, C.:
Interne Unternehmensrechnung
als Instrument des markt-
orientierten Zielkosten-
managements. In: ZP, 19 (2008)
1, S. 107–132

28

4.3 Produktgestaltung mittels Target Costing und Target Energy Management

Entwicklungspfade für energiesensitive Target Costing-Ansätze



Quelle: modifiziert übernommen aus Bierer, A.; Götzke, U.: Target Costing for energy- and cost-efficient product development. In: Neugebauer, R. et al. (Hrsg.): Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD, Auerbach, 2013, S. 436–450, hier: S. 438.
URN: [urn:nbn:de:bsz:ch1-gucosa-109067](http://nbn:de:bsz:ch1-gucosa-109067)

29

5. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- gezielte Steuerung der Energieeffizienz als komplexe und facettenreiche betriebswirtschaftliche Aufgabenstellung
- in eniPROD ist ein umfangreicher Methodenbaukasten entstanden
- ein Schwerpunkt: disziplinenübergreifende Zusammenarbeit

Ausblick

- Spezifizierung, Vertiefung und Integration des betriebswirtschaftlichen Instrumentariums
- Einbeziehung ökologischer Aspekte (z. B. Umweltbilanzen)
- Wirtschaftsingenieurwesen als akademische Disziplin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dieses Projekt wird gefördert von der Europäischen Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Landesmitteln des Freistaats Sachsen.



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.



STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
UND KUNST



31