

# **Energieorientierte Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme**

## *(Energy-oriented accounting and evaluation of technical systems)*

Götze, U.<sup>1</sup>; Sygulla, R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Chemnitz, Professur Unternehmensrechnung und Controlling

### **Abstract**

Ein erster wesentlicher Schritt bei der Gestaltung energie- und kosteneffizienter technischer Systeme ist die Analyse ihres Ist-Standes sowie der zur Verfügung stehenden Alternativen. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der energieorientierten technischen sowie der darauf aufbauenden ökonomischen und ökologischen Bilanzierung und Bewertung zu. Der Beitrag spannt zunächst einen Rahmen, um die verschiedenen Facetten dieses Themas zu fassen, und ordnet anschließend die Beiträge des vorliegenden Sammelbandes ein. Abschließend wird ein Fazit zum aktuellen Stand der energieorientierten Bilanzierung und Bewertung gezogen sowie ein Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf gegeben.

*The first and quite important task of designing energy- and cost-efficient technical systems is analyzing their as-is state as well as the available alternatives. Here, the energy-related technical and the subsequent economic and ecologic evaluations are of vital importance. Firstly, the article will span an appropriate frame including the relevant facets of the topic. Secondly, it will allocate the articles of the proceedings to this frame. The conclusions summarize the current state of the energy-related accounting and evaluation and provide an outlook on domains requiring further research.*

### **Keywords:**

Energieeffizienz, Kosteneffizienz, Design technischer Systeme  
*energy efficiency, cost efficiency, design of technical systems*

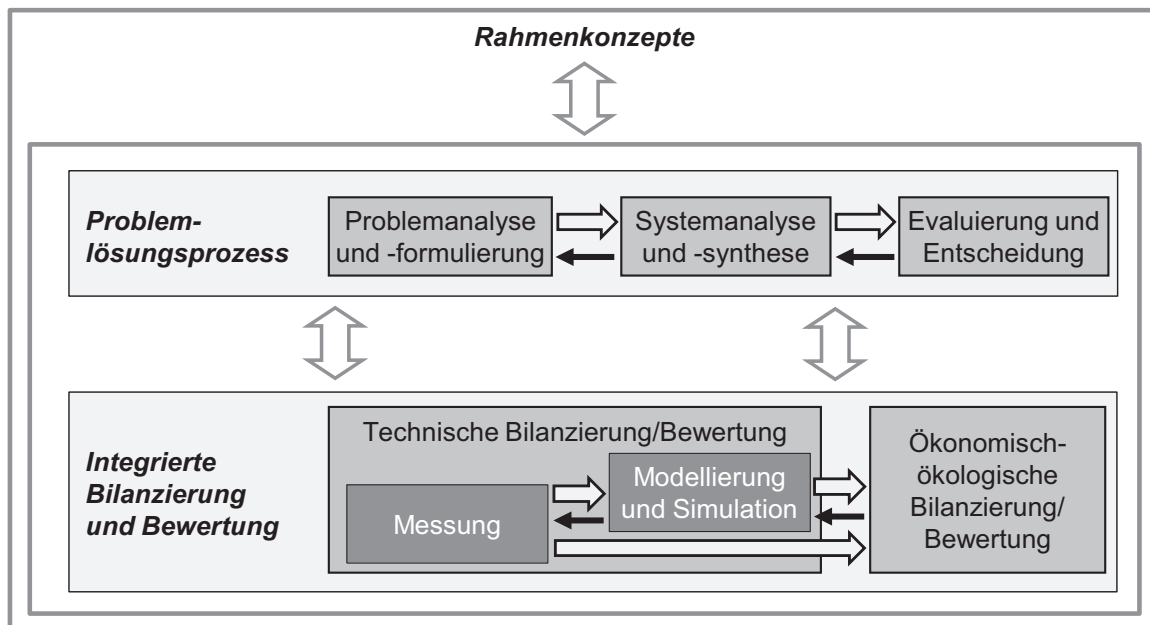
R. Neugebauer, U. Götze, W.-G. Drossel (Hrsg.), *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD*, Tagungsband zum 1. und 2. Methodenworkshop der Querschnittsarbeitsgruppe 1 "Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung" des Spitzentechnologieclusters eniPROD, *Wissenschaftliche Scripten*, Auerbach, 2013.  
URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067>

# 1 Bilanzierung und Bewertung im Rahmen von eniPROD

Die Gestaltung einer energieeffizienten Produktion, wie sie im Spitzentechnologiecluster eniPROD untersucht wird, lässt sich in drei Teilaufgaben gliedern:

- Erfassung bzw. Bilanzierung des Energieverbrauchs,
- Bewertung der technischen Systeme (insbesondere bezüglich ihres Energieverbrauchs),
- Erarbeitung konkreter Gestaltungsalternativen sowie von Handlungsanweisungen zur Steuerung des Energieverbrauchs.

Vor dem Hintergrund spezifischer Schwerpunktsetzungen und verschiedener Objekte werden in den sechs Handlungsfeldern des Clusters Lösungen für die gezielte Steigerung der Energieeffizienz der industriellen Produktion erarbeitet. Um den breiten, interdisziplinären Austausch zu hierbei entwickelten Methoden und Instrumenten über die Grenzen der Handlungsfelder hinaus zu gewährleisten, wurden sogenannte Querschnittsarbeitsgruppen gebildet. Der Fokus der Querschnittsarbeitsgruppe 1 (QAG1) „Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung“ liegt auf der Bilanzierung und Bewertung, den ersten beiden Teilaufgaben. Der vorliegende Band entstand im Rahmen des 2. Methodenworkshops dieser QAG, der am 14. November 2012 in Chemnitz stattfand.



**Bild 1:** Integrierte technisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung (Quelle: modifiziert übernommen aus [1])

Stand beim ersten Workshop noch die Entwicklung von Methoden im Vordergrund (vgl. [2]), so zeigt sich dieses Mal eine deutliche Verlagerung des Themenschwerpunkts hin zur Anwendung und Validierung. Ebenfalls zu betonen ist, dass der überwiegende Teil der Beiträge bewusst einen interdisziplinären Ansatz wählt. Für eine Einordnung der Beiträge des vorliegenden Sammelbandes soll die bei [1] entwickelte Systematik einer integrierten technisch-wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung aufgegriffen und um übergreifende Rahmenkonzepte erweitert werden, vgl. Bild 1. Diese sollen Standardisierungsansätze (hin zu einem „Energie-Label“) sowie Steuerungskonzepte umfassen, die einen übergreifenden Charakter haben und rahmenbildend für energiebezogene Problemlösungs- sowie Bilanzierungs- und Bewertungsprozesse wirken.

Wie bereits erwähnt, werden die Methoden und Instrumente in eniPROD häufig vor einem spezifischen Hintergrund entwickelt, bspw. dem eines bestimmten Objekts. Für eine tiefer gehende Klassifizierung der Beiträge soll daher ein Morphologischer Kasten gebildet werden, vgl. Tabelle 1. Dieser greift die in Bild 1 gezeigten Elemente als eine spezifische Sicht auf und ergänzt diese, basierend auf dem für eniPROD entwickelten Sichtenmodell [3], um die Sichten bzw. Kategorien der untersuchten Objekte, der betrachteten Lebenszyklusphase und der zugrunde liegenden Methode.

**Tabelle 1:** Ausgewählte Sichten der Bilanzierung und Bewertung (Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an [3])

<b>Perspektive</b>	<i>Technische Bilanzierung/Bewertung</i>			<i>Ökonomisch-ökologische Bilanzierung/Bewertung</i>			<i>Rahmenkonzepte</i>	
<b>Objekt</b>	<i>Fabrik</i>	<i>Logistik</i>	<i>Prozess-kette</i>	<i>Prozess</i>	<i>Produktions-system</i>	<i>Produkt</i>	<i>Bauteil/-gruppe</i>	<i>Material/Werkstoff</i>
<b>Lebens-zyklusphase</b>	<i>Entwicklung</i>		<i>Herstellung</i>		<i>Nutzung</i>		<i>Recycling/Entsorgung</i>	
<b>Methode (Fokus)</b>	<i>Beschreibung/Bilanzierung</i>		<i>Analyse/Prognose</i>		<i>Bewertung</i>		<i>Design/Implementierung</i>	

## 2 Technische Bilanzierung und Bewertung

Die Aufgabe der technischen Bilanzierung und Bewertung umfasst im Wesentlichen die Erfassung und Dokumentation energieverbrauchsbezogener Kenngrößen, auf deren Basis Analysen und Vergleiche durchgeführt und somit effizienzbezogene Entscheidungen vorbereitet werden [1]. Die hierfür entwickelten Instrumente und Methoden sind teils sehr objektspezifisch.

Logistiksysteme allgemein betrachten WEISE/STROBEL/BERGMANN/SCHUMANN. Sie klassifizieren die entsprechenden technischen Systeme und leiten auf der Basis

physikalischer Zusammenhänge wesentliche Treiber ihres Energieverbrauchs ab. BÖHME/PATZIG/TODTERMUSCHKE entwickeln in ihrem Beitrag eine technische Lösung für ein Spezialproblem der Intralogistik, den energieeffizienten Transport warmer Bauteile. Ebenfalls auf die Intralogistik, allerdings aus Sicht der Fabrikplanung, sind zwei weitere Beiträge gerichtet. MÜLLER/KRONES/HOPF entwickeln eine Planungsmethode, die im Unterschied zu bestehenden Ansätzen auch das Zusammenwirken der einzelnen Logistikkomponenten und deren Einsatzbedingungen berücksichtigt, und demonstrieren das Vorgehen anschließend am Beispiel eines Fahrerlosen Transportsystems. GÖTZE/MÜLLER/MEYNERTS/KRONES untersuchen zwei konkrete technische Alternativen zur Materialversorgung einer Produktionslinie (einen Schlepper und ein Fahrerloses Transportsystem) hinsichtlich des Energieverbrauchs, um damit eine Lebenszykluskostenrechnung vorzubereiten.

Neben der Logistik stehen insbesondere Fertigungsprozesse sowie die für diese genutzten Produktionssysteme im Fokus des eniPROD-Clusters. So analysieren FISCHER/HELMBERG/REGHENSPURGHAR alternative Prozessketten zur Herstellung konkreter Schmiedebauteile, um darauf basierend eine unter energetischen Aspekten optimale Kette zu bestimmen. Einen anderen, ebenfalls auf die Entscheidungsunterstützung gerichteten Ansatz verfolgen BÖHME/RÖBER/TODTERMUSCHKE. Sie zeigen, wie sich mit der sogenannten Arbeitsraum-Energieumsatz-Verteilungs-Analyse spezifische Energieverbräuche von Industrierobotern in Abhängigkeit von ihrem Arbeitsraum simulieren und visualisieren lassen. Ein spezifisches Produktionssystem ist Gegenstand des Beitrags von GÖTZE/LINDNER/KOLESNIKOV/PAETZOLD. Sie widmen sich vor dem Hintergrund steigender gesetzlicher Anforderungen an Elektromotoren der Analyse und Bewertung von in Werkzeugmaschinen verbauten Antrieben.

Je nach gewähltem Fokus können die Methoden zur technischen Bilanzierung und Bewertung auf mehrere Lebenszyklusphasen des betrachteten Objekts ausgedehnt werden. Die vorliegenden Beiträge beziehen sich hinsichtlich des Energieverbrauchs zumeist auf die Phasen der Herstellung und der Nutzung. Die gewonnenen Erkenntnisse werden aber häufig primär in den der Herstellung und Nutzung vorgelegerten Entwicklungsphasen verwendet.

Eine weitere Klassifizierung kann anhand der Art der Methode bzw. ihres Fokus vorgenommen werden. So beschäftigt sich der Beitrag von HÄLSIG/MAYR intensiv mit der Bewertung technischer Systeme mittels der Kennzahl Wirkungsgrad. Am Beispiel von Schweißprozessen werden verschiedene Wirkungsgrad-Definitionen präsentiert und hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit diskutiert. Einen ähnlichen Ansatz zur Bewertung von Prozessen wählen MÜLLER/SCHILLIG/STOCK. Sie übertragen die Klassifizierung der Wertstrommethodik in „wertschöpfende“ und „nicht wertschöpfende Aktivitäten“ auf den Energieeinsatz, um auf dieser Basis Gestaltungsempfehlungen für die betrachteten Prozesse ableiten zu können. Noch stärker auf Design bzw. Implementierung und damit die Entwicklungsphase fokussiert der

Beitrag von PAPE/MANTWILL. In diesem wird eine IT-gestützte Methode vorgestellt, die Entwickler mittels einer produkt- bzw. bauteilbezogenen Visualisierung (prognostizierter) lebenszyklusweiter Energiebedarfe beim Entwurf energieeffizienter Produkte unterstützen soll. Derartige Visualisierungsmethoden stehen auch im Mittelpunkt des Beitrags von WITTSTOCK/KLAVINA/SCHÜTZ/PÜRZEL. Sie untersuchen die Akzeptanz und Wirkung verschiedener Varianten der VR-Visualisierung durch bzw. auf die Nutzer.

### **3 Ökonomisch-ökologische Bilanzierung und Bewertung**

Mit Hilfe der Methoden der technischen Bilanzierung und Bewertung lassen sich bereits Gestaltungsempfehlungen für die untersuchten Objekte in Bezug auf eine Verringerung des Energieeinsatzes ableiten. Allerdings müssen insbesondere im betrieblichen Umfeld auch ökonomische sowie ökologische Zielsetzungen bei der Entwicklung und Realisierung technischer Systeme berücksichtigt werden. Die auf den technischen aufbauenden ökonomischen und/oder ökologischen Methoden stellen die Bilanzierung und Bewertung der Objekte hinsichtlich ihrer monetären bzw. ihrer Umweltwirkung in den Mittelpunkt. Das Ziel dieser Methoden ist zumeist eine Unterstützung der Entscheidung über zur Verfügung stehende technische Alternativen.

Der vorliegende Band lässt einen Schwerpunkt bezüglich der ökonomischen Bewertung erkennen. Die bereits erwähnten Beiträge von GÖTZE/MÜLLER/MEYNERTS/KRONES sowie von GÖTZE/LINDNER/KOLESNIKOV/PAETZOLD entwickeln objektspezifische Ansätze einer Lebenszykluskostenrechnung und demonstrieren deren Anwendung auf beispielhaft ausgewählte Problemstellungen. FISCHER/FISCHER/GÖTZE/KRÖNERT erweitern in ihren Betrachtungen die typischen Zielgrößen der Produktionswirtschaft (Durchlaufzeiten, Termintreue und Kosten) um die Energieeffizienz und untersuchen und bewerten verschiedene Handlungsalternativen der Koordination mehrerer miteinander agierender Roboter in einer getakteten Fließfertigung. Grundlage des hierbei verwendeten ganzzahligen Optimierungsmodells sind zeitdiskretisierte periodische Netzwerkflüsse, wobei über die Nutzung koppelnder Nebenbedingungen auch die Abhängigkeiten zwischen den Prozessschritten der Roboter und den Stationen berücksichtigt werden. GÖTZE/ZÖNNCHEN/SCHÖNHERR gehen in ihren Betrachtungen über den Rahmen eines einzelnen Objektes hinaus und bestimmen die Wirtschaftlichkeit alternativer Prozessketten, indem sie unter Nutzung von Bezugsgrößen die Kosten der Prozessketten bestimmen. Dargestellt wird das Vorgehen am Beispiel von Prozessketten der Herstellung von Strukturbauteilen mittels Presshärten. SCHMIDT/HACHE/HEROLD/GÖTZE widmen sich einem noch jungen Kostenrechnungskonzept, der sogenannten Materialflusskostenrech-

nung. Diese verspricht, durch ihre detaillierte flussorientierte Erfassung und ökonomische Bewertung von erwünschten und unerwünschten Outputs industrieller Prozesse bzw. Prozessketten bisher unerkannte Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz der Produktion zu identifizieren. Die zugrunde liegende Methodik orientiert sich stark an der Ökobilanzierung. Im Rahmen des Beitrags wird daher die Umsetzung der Materialflusskostenrechnung mit Hilfe des insbesondere für die Ökobilanzierung von Produkten und Prozessen entworfenen IT-Tools Umberto<sup>®</sup> untersucht.

Auf einen rein ökologischen Bewertungsansatz stützt sich die bereits oben erwähnte, von PAPE/MANTWILL entwickelte Methode. Für die Prognose und Bewertung der Auswirkungen von Konstruktionsentscheidungen auf zukünftige Energiebedarfe nutzen sie den Kumulierten Energieaufwand in Verbindung mit energetischen Kausalvernetzungen, um eine möglichst frühzeitige Berücksichtigung des Ziels Energieeffizienz im Konstruktionsprozess von Produkten zu ermöglichen.

## **4 Rahmenkonzepte**

Unter dem Begriff „Rahmenkonzepte“ werden in diesem Sammelband Methoden und Instrumente verstanden, die über die reine (integrierte) technisch-ökonomisch-ökologische Bilanzierung und Bewertung hinaus gehen und rahmenbildend sowohl auf die Prozesse der energiebezogenen Problemlösung als auch auf diejenigen der Bilanzierung und Bewertung wirken.

Vor dem Hintergrund einer geplanten Ökodesignrichtlinie für Werkzeugmaschinen greifen WITTSTOCK/PAETZOLD die Frage auf, wie entsprechende Energielabel zu gestalten sind bzw. auf welchen (Energie)Werten sie basieren sollten und welche Schwierigkeiten sich bei der Übertragung des für Endprodukte bekannten Konzepts auf Produktionssysteme ergeben. Hierzu analysieren sie bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Aussagekraft, ihrer prinzipiellen Anwendbarkeit auf Werkzeugmaschinen sowie des Aufwands für die Bestimmung der notwendigen Daten.

Bei der Entwicklung technischer Systeme müssen neben deren Energiebedarf in der Regel immer auch Kostenziele berücksichtigt werden. Während sowohl für die energie- als auch für die kosteneffiziente Gestaltung geeignete Ansätze zur Verfügung stehen, besteht in Bezug auf die Integration der beiden Zieldimensionen eine methodische Lücke. Vor diesem Hintergrund greifen BIERER/GÖTZE den Kostenmanagementansatz des Target Costings auf und modifizieren ihn für eine integrierte Analyse. Anschließend demonstrieren sie das sogenannte Target Energy and Cost Management am Beispiel eines Dreh-Frä-Bearbeitungszentrums.

Ein drittes in diesem Sammelband vertieftes Rahmenkonzept ist das sogenannte Life Cycle Engineering (LCE). Es umfasst alle Aktivitäten der Entwicklung neuer Produkte und/oder Prozesse, wobei im Rahmen der hierbei zu treffenden Entschei-



dungen explizit die Wirkungen des entsprechenden Planungsobjekts über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigt werden. PEÇAS/RIBEIRO/HENRIQUES geben einen Überblick zum LCE und entwickeln einen Ansatz, der insbesondere in frühen Phasen der Entwicklung Entscheidungsprozesse vor dem Hintergrund technischer, ökonomischer *und* ökologischer Zielstellungen unterstützen soll.

Die konkreten Ergebnisse der Anwendung eines Rahmenkonzepts präsentiert VIERE in seinem Beitrag. Die im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts zur Energie- und Hilfsstoffoptimierten Produktion (EnHiPro) entstandenen Fallstudien zeigen, welche Potenziale mit Hilfe einer energie- und diesem Fall auch materialorientierten Bilanzierung und Bewertung bestehender Prozessketten identifiziert werden können und welchen monetären Nutzen die Unternehmen aus der Realisierung der entsprechenden Verbesserungsmaßnahmen ziehen konnten.

## **5 Fazit und Ausblick**

Die Gesamtheit der Beiträge des Sammelbands zeigt eindrucksvoll die Vielfalt und den Facettenreichtum der Aufgaben und Methoden der energieorientierten Bilanzierung und Bewertung. Es wird auch deutlich, dass erhebliche Fortschritte hinsichtlich des Bilanzierungs- und Bewertungsinstrumentariums erzielt worden sind und ein gewisser Reifegrad erreicht worden ist. Dennoch verbleiben weitere Entwicklungsbedarfe, insbesondere im Hinblick auf:

- Die Verfeinerung und Validierung einzelner Methoden auch unter dem Gesichtspunkt ihrer wirtschaftlichen Anwendung,
- die stärkere Einbeziehung bisher weitgehend vernachlässigter Abschnitte des Lebenszyklus (insbesondere Recycling/Entsorgung),
- die Übertragung der entwickelten Methoden auf andere als die bislang untersuchten Objekte,
- die Ausarbeitung der Rahmenkonzepte inkl. des Nachweises von Energieeffizienz in umfassenden Systemen sowie
- die Integration der einzelnen Methoden und Rahmenkonzepte, auch im Hinblick auf Energieeffizienz- sowie ökologische und ökonomische Ziele.

Erfolgreiche Arbeiten an diesen Themenstellungen versprechen weitere Impulse auf dem Weg zu energetisch, ökologisch und ökonomisch „optimierten“ technischen Systemen.

## Acknowledgment

Die Autoren danken der europäischen Union (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung des Spitzentechnologieclusters „Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik“ (eniPROD®).



## Literaturangaben

- [1] Neugebauer, R.; Götze, U.; Paetzold, J.: *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme im Spitzentechnologiecluster eniPROD. In diesem Band, S. 1–10.*
- [2] *Teil 1 dieses Bandes.*
- [3] Neugebauer, R.; Götze, U.; Sygulla, R.: *Sichtenmodell als Grundlage der energieeffizienzorientierten Bilanzierung, Bewertung und Gestaltung von Produktionsbereichen. In diesem Band, S. 11–20.*