

# **Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme im Spitzentechnologiecluster eniPROD**

*(Evaluation of energy- and cost-effectiveness of technical systems in the Cluster of Excellence eniPROD)*

Neugebauer, R.<sup>1</sup>; Götze, U.<sup>2</sup>; Paetzold, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Chemnitz, Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

<sup>2</sup> TU Chemnitz, Professur Unternehmensrechnung und Controlling

## **Abstract**

Energetisch verbesserte technische Systeme werden sich in der Unternehmenspraxis nur dann durchsetzen, wenn sie in wirtschaftlicher Hinsicht vorteilhaft sind – daher ist für deren bewusste Gestaltung eine integrierte, energetisch-wirtschaftliche, Bilanzierung und Bewertung erforderlich. Im vorliegenden Beitrag werden Anforderungen hieran formuliert, um dann einen Überblick über Ansätze, Vorgehensweisen und Methoden der (energiebezogenen) technischen, wirtschaftlichen und integrierten, energetisch-wirtschaftlichen, Bilanzierung und Bewertung zu vermitteln.

*Technical systems with improved energy efficiency will only be competitive in the market if they are also economically advantageous. This calls for an integrated, energy-related technical and economic accounting and evaluation already in the product development phase. In this paper, firstly, corresponding requirements for the integrated accounting and evaluation are formulated and – based on this – approaches, procedures and methods of (energy-related) technical, economic and integrated evaluations are analyzed.*

## **Keywords:**

Technische Bilanzierung und Bewertung, Energieeffizienz, energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung

*Technical evaluation, energy-efficiency, energy- and cost-effectiveness evaluation*

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 **Problemstellung und Zielsetzung**

Die im Spitzentechnologiecluster eniPROD angestrebte Erhöhung der Energieeffizienz in der Produktionstechnik (vgl. dazu [1, 2]) setzt die Messung, Schätzung bzw. Berechnung, Analyse und Beurteilung von Energieverbräuchen – im Folgenden zusammenfassend als energetische Bilanzierung und Bewertung<sup>1</sup> bezeichnet – voraus: Diese ermöglicht überhaupt erst die Erfassung und den Nachweis von Veränderungen der Energieeffizienz, bildet die Basis für die Identifikation wichtiger Energieverbraucher und damit von Einsparpotenzialen und dient der energieeffizienzbezogenen Beurteilung und Auswahl von Gestaltungsalternativen.

Die Energieeffizienz stellt jedoch nur eines der bei der Gestaltung technischer Systeme verfolgten Ziele dar: Daneben sind insbesondere die Funktionalität und die Kosten relevant. So werden sich letztlich energetisch verbesserte Systeme in der Unternehmenspraxis nur dann durchsetzen, wenn sie sich auch in wirtschaftlicher Hinsicht als vorteilhaft erweisen. Dies wird sich oftmals darin äußern, dass die über den Lebenszyklus eines solchen Systems anfallenden Gesamtkosten (die Lebenszykluskosten) geringer sein sollen oder zumindest nicht höher sein dürfen als die von Vergleichsalternativen. Für eniPROD ergeben sich daraus die Konsequenzen, dass erstens die energetische stets durch eine ökonomische Bilanzierung und Bewertung zu begleiten ist und zweitens beide miteinander verzahnt werden sollten.

Der energetischen, der wirtschaftlichen und der integrierten, energetisch-wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung kommt damit in eniPROD eine hohe Bedeutung zu, der unter anderem durch die Bildung einer entsprechenden Querschnittsarbeitsgruppe Rechnung getragen worden ist. Von dieser initiiert, ist ein Workshop zu Methoden der energetischen, wirtschaftlichen und energetisch-wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung durchgeführt worden, dessen Ergebnisse das vorliegende Buch präsentiert. Die nachfolgenden Ausführungen dienen dazu, die Beiträge des Bandes im Rahmen einer überblicksartigen Darstellung von Anforderungen an die sowie Vorgehensweisen und Methoden der Bilanzierung und Bewertung einzuordnen.

---

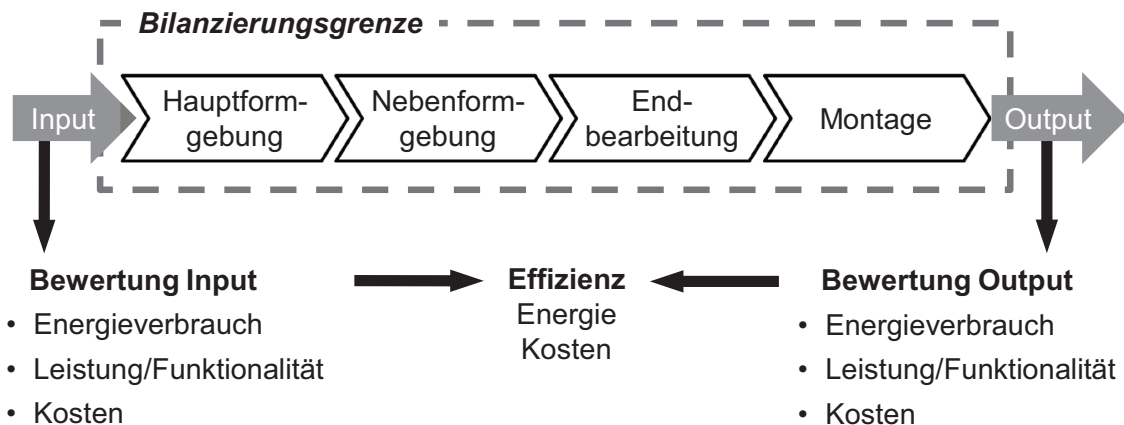
<sup>1</sup> Die Bilanzierung umfasst in diesem Kontext, analog zur kaufmännischen Rechnungslegung, die aggregierte Abbildung der für energetisch-technische und/oder wirtschaftliche Entscheidungen relevanten Sachverhalte. Sie ist eng mit der Bewertung dieser Sachverhalte sowie darauf bezogener Handlungsalternativen verbunden, so dass eine strenge Trennung generell kaum möglich erscheint und auch hier nicht erfolgen soll.

## 2 Anforderungen an die Bilanzierung und Bewertung

Die energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung lässt sich als spezifische Form der Modellbildung und -analyse interpretieren (vgl. dazu den Beitrag von NEUGEBAUER/SCHIECK/GÖSCHEL/SCHÖNHERR zur Stoff- und Energieflussbilanzierung von Prozessketten). Damit sie ihren Zweck in hohem Maße, d. h. mit hoher Aussagekraft, erfüllen kann, muss sie spezifische Anforderungen erfüllen. Dazu zählen die

- exakte Abgrenzung des zu untersuchenden realen Systems,
- adäquate Erfassung etwaiger unterschiedlicher Input- und Outputgrößen,
- Vollständigkeit, Genauigkeit und Transparenz der Abbildung des Realsystems im Hinblick auf die sachliche und zeitliche Dimension sowie differenziert nach den verfolgten Zielen.

Diese seien nachfolgend am Beispiel der vereinfacht dargestellten Prozesskette Powertrain veranschaulicht (Bild 1).



**Bild 1:** Prozesskette Powertrain als Bilanzierungs- und Bewertungsobjekt

Eine exakte Abgrenzung des zu untersuchenden realen Systems ist die Basis dafür, Bilanzierungs- und Bewertungsergebnisse erzielen zu können, die einen wertvollen Beitrag zur Lösung der realen Problemstellung leisten. Sie führt zur Festlegung von Bilanzierungsgrenzen und damit zu den Punkten, an denen der Input und der Output des Systems zu messen sind (im Beispiel vor der Hauptformgebung und nach der Montage). In diesem Zusammenhang sollten auch die realen Gestaltungsziele – wie Leistung/Funktionalität, Energieverbrauch/-effizienz und Kosten – sowie die relevanten Entscheidungsalternativen definiert werden, da mit der Bilanzierung und Bewertung letztlich Aussagen über die Erfüllung dieser Ziele durch die Alternativen zu treffen sind.

In vielen Fällen werden die alternativen Gestaltungsmöglichkeiten des realen Systems, wie verschiedene Varianten der Prozesskette, unterschiedliche Inputgrößen (wie Werkstoffe, Werkzeuge, Energien) erfordern und/oder zu unterschiedlichen Outputs führen (beispielsweise hinsichtlich der Weiterverarbeitungs-, Gebrauchs- und Recyclingeigenschaften). Diese sind dann bei der Bilanzierung und Bewertung adäquat zu berücksichtigen, was die Herstellung von Vergleichbarkeit der verschiedenartigen Input- und Outputgrößen umfasst. Ansätze hierfür werden in den Beiträgen von PUTZ/TODTERMUSCHKE/BÖHME mit der Prozess-Hilfs-Energie-Analyse bzw. dem „Produktmehrwert“ sowie von SYGULLA/GÖTZE mit dem Kumulierten Energieaufwand aufgezeigt.

Schließlich ist das reale System so in einem Modell abzubilden, dass im Idealfall die Vollständigkeit, Genauigkeit und Transparenz sowohl in sachlicher als auch in zeitlicher Hinsicht gewahrt und außerdem sämtliche Zielgrößen einbezogen werden. Im Hinblick auf die Vollständigkeit stellen sich in sachlicher Hinsicht beispielsweise die Fragen, ob und inwieweit logistische Vorgänge bei der Modellierung einer Prozesskette einbezogen werden sollen, welche technischen und wirtschaftlichen Einflussgrößen zu berücksichtigen sind und inwiefern für einen Demonstrator gewonnene Aussagen repräsentativ für eine größere Objektgruppe sind. In zeitlicher Hinsicht stellt sich unter anderem die Herausforderung, aus Messungen des Energieverbrauchs, die sich häufig auf ausgewählte, kurze Zeitabschnitte beziehen, wirtschaftliche Bewertungen der Vorteilhaftigkeit abzuleiten, die wiederum den gesamten, oft mehrjährigen Lebenszyklus eines Objekts umfassen. Im Hinblick auf die Genauigkeit ist zu fordern, dass die im Modell, beispielsweise bezüglich der Endbearbeitung in einer Prozesskette, gewonnenen Aussagen der Realität möglichst nahe kommen, um damit eine hohe Güte der Entscheidungsvorbereitung zu erreichen. Sie wird u. a. durch die verwendeten Bilanzierungs- und Bewertungsmethoden (einschließlich der zur Gewinnung von Eingangsdaten verwendeten Messmethoden) und deren konkrete Handhabung beeinflusst. Schließlich soll mit der Transparenz der Modellbildung und -auswertung deren Nachvollziehbarkeit und Akzeptanz gefördert werden; zur Wahrung von Transparenz sollten u. a. die bezüglich der Rahmenbedingungen, Methoden etc. getroffenen Annahmen dokumentiert werden.

Eine Basis sowohl für die Systemabgrenzung als auch für die Erfassung der (unterschiedlichen) Input- und Outputgrößen und die strukturierte Abbildung des Systems in einem Modell stellt das von NEUGEBAUER/GÖTZE/SYGULLA in diesem Band vorgestellte Sichtenmodell dar, indem es eine mehrdimensionale Strukturierung untersuchter Bereiche ermöglicht. Mit der Bereitstellung eines Rahmens zur Verknüpfung von Daten und Werkzeugen/Methoden aus verschiedenen Wissensdomänen können Semantic Web-Technologien, wie sie von WENZEL/LORENZ vorgestellt werden, eine solche Strukturierung unterstützen.

Abschließend ist aber darauf hinzuweisen, dass zu den Anforderungen an die energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung auch deren eigene Wirtschaftlichkeit zählt – ihr Nutzen sollte stets höher sein als der damit verbundene Aufwand.

### **3 Energetisch-technische Bilanzierung und Bewertung**

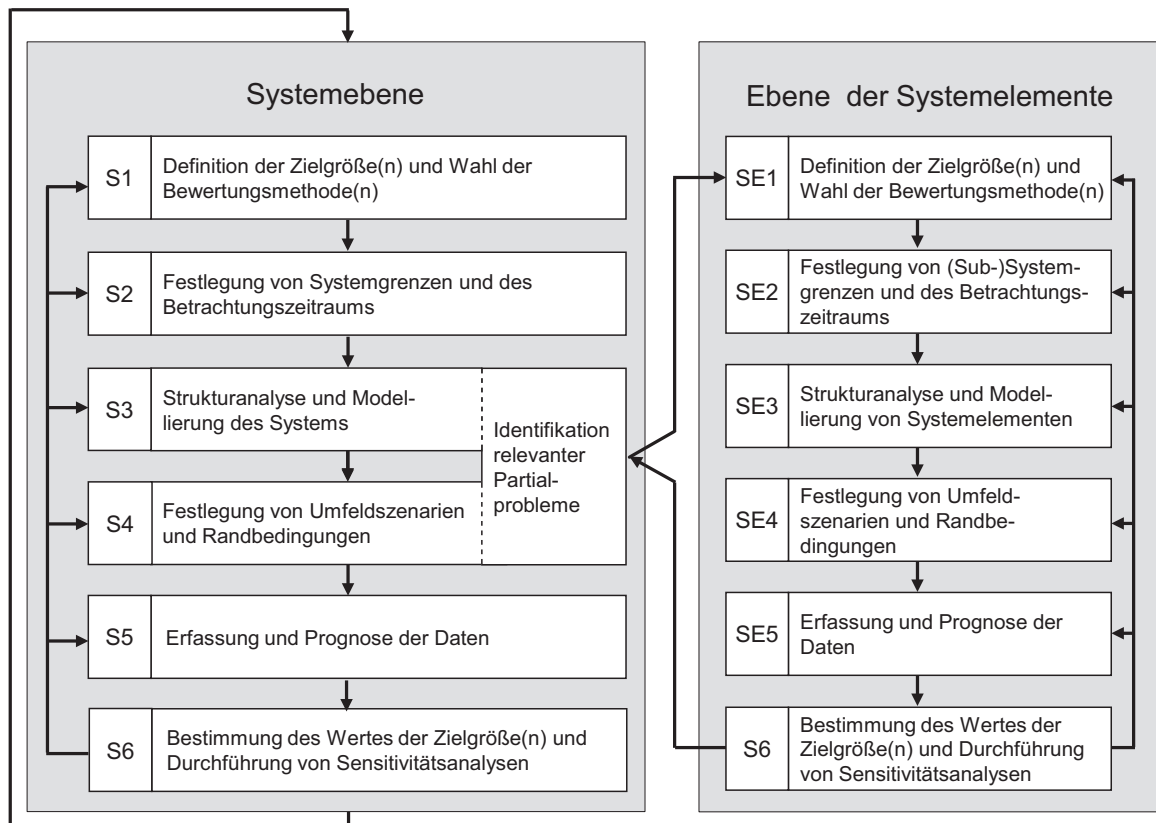
Ein Ziel des Spitzentechnologieclusters eniPROD besteht in der Verringerung des Energieverbrauchs von Werkzeugmaschinen bei mindestens gleicher Leistungsfähigkeit. Wie können nun aber verschiedene technische Systeme, die sich unter Umständen in ihrem Aufbau und den zugrunde liegenden Technologien voneinander unterscheiden, in energetischer Hinsicht verglichen und beurteilt werden? Dies ist Aufgabe der energetischen Bilanzierung und Bewertung, in deren Rahmen die energetischen Eigenschaften technischer Systeme abzubilden sind, um

- Kenngrößen zu Energieverbräuchen zu erfassen, zu dokumentieren und nachzuweisen und
- damit die Basis für Analysen, Vergleiche und Bewertungen sowie letztlich die Vorbereitung von Entscheidungen zur energieeffizienten Gestaltung technischer Systeme und Prozesse unter Einbeziehung technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Zielsetzungen zu schaffen.

Die energetische Bilanzierung und Bewertung stellt die Input- und Output-Größen eines technischen Systems einander gegenüber. Auf der Grundlage einer systematischen Erfassung und Analyse des (energetischen) Inputs und Outputs wird angestrebt, die auftretenden Verluste und den tatsächlich „wertschöpfenden“, für die Ausführung der gewünschten Operation notwendigen, Anteil des Energieverbrauchs zu ermitteln. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, z. B. Verbrauchsschwerpunkte und Potentiale zur Energieverbrauchssenkung zu identifizieren, ist i. d. R. die Dekomposition des technischen Systems in Systemelemente (Komponenten einer Werkzeugmaschine, Prozesse etc.) erforderlich.

Dies berücksichtigend wurde ein Vorgehensmodell entwickelt, das die Durchführung einer strukturierten und konsistenten Analyse ermöglichen soll (und in abgewandelter Form auch für ökonomische bzw. integrierte Analysen Anwendung finden kann; vgl. dazu den Beitrag von LINDNER/GÖTZE). Dieses in Bild 2 dargestellte Vorgehensmodell umfasst (mindestens) zwei Modellebenen, in denen jeweils sechs Schritte (S1/SE1 bis S6/SE6) durchlaufen werden. Auf der oberen Ebene wird das technische System als Ganzes bezogen auf energetische bzw. technische Kriterien betrachtet. Die untergeordnete Ebene der (Modellierung von) Systemelemente(n) dient der detaillierten Untersuchung beispielsweise spezifischer Komponenten,

Prozessen etc.; bei strukturierter und konsistenter Aufgliederung des Gesamtsystems können die in SE 6 erzielten Erkenntnisse in die Bilanzierung und Bewertung des übergeordneten (Gesamt-) Systems einfließen.



**Bild 2:** Vorgehensmodell zur (energiebezogenen) Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme (modifiziert übernommen von [3])

Auf eine Beschreibung der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells soll an dieser Stelle verzichtet werden, stattdessen werden die einzelnen Beiträge des Sammelbandes, die die energetisch-technische Bilanzierung und Bewertung thematisieren, eingeordnet. Der Beitrag von PAETZOLD bezieht sich auf die Messung als eine der beiden primär im fünften Schritt einsetzbaren grundlegenden Methoden zur Gewinnung von Energieverbrauchsdaten. Mit Messungen können primär für kürzere Zeitabschnitte und punktuell, d. h. auf der Ebene der Systemelemente (SE5), Erkenntnisse zu Energieverbräuchen gewonnen werden; PAETZOLD stellt konkret allgemeine Grundlagen zur und Erfahrungen bei der Messung elektrischer Energie dar. Ebenfalls auf die Messung nehmen MÜLLER/LÖFFLER Bezug, indem sie ein vor allem in den Schritten 5 und 6 des Vorgehensmodells zu verortendes Konzept für die Nutzung der Mess- und Automatisierungstechnik zur Identifikation von Verschwendungen, zum Energiemonitoring und zur Realisierung energiesparender Betriebsweisen in der diskreten Fertigung und Montage präsentieren. Die zweite grundlegende Herangehensweise zur Gewinnung von Energieverbrauchsdaten,



Berechnungen, greifen KOLESNIKOV/WABNER auf. Sie widmen sich dem Thema der Qualität elektrischer Energie und analysieren deren Auswirkungen auf die Energieeffizienz von Maschinen und Anlagen mit Hilfe geeigneter Simulationsmethoden (S3-S5/SE3-SE5). Auf die Interpretation und Kommunikation der Bilanzierungsergebnisse (und damit S6/SE6) zielt der Beitrag von WITTSTOCK/PÄTZOLD ab; sie erörtern Möglichkeiten der Visualisierung von Energiekennwerten komplexer technischer Systeme in der virtuellen Realität (VR).

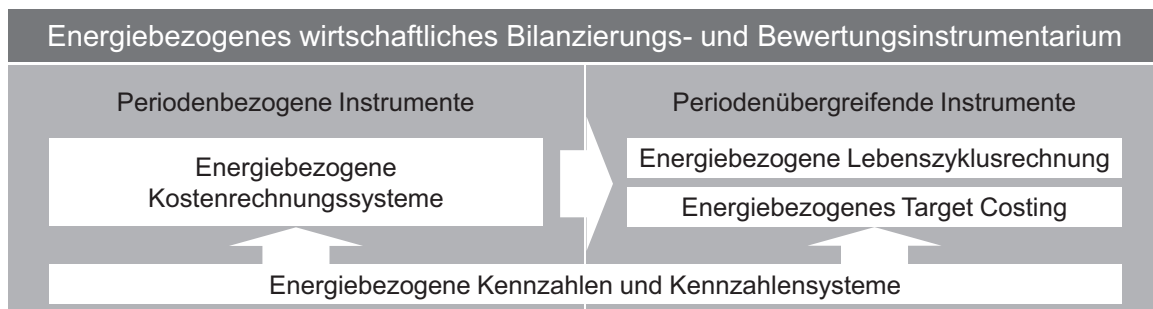
## **4 Energiebezogene wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung**

Zwar können mit Hilfe der energetischen Bilanzierung und Bewertung energetische Schwachstellen und Verbesserungspotentiale technischer Systeme identifiziert und bewertet werden. Doch bedarf es, wie eingangs erwähnt, einer Ergänzung um eine wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung, um eine die relevanten Ziele einbeziehende Analyse und Gestaltung der technischen Systeme – unter besonderer Berücksichtigung des Energieaspekts – zu ermöglichen.

Für die wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung kann grundsätzlich auf das Instrumentarium der internen Unternehmensrechnung und des Controllings zurückgegriffen werden (vgl. dazu auch [4]): Dies umfasst mit den Systeme und Methoden der Kosten- und Erlösrechnung, des Kostenmanagements und der damit verbundenen Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung sowie Kennzahlen und Kennzahlensystemen eine Reihe von Instrumenten, die in unterschiedlicher Weise der Bilanzierung und/oder Bewertung und zum Teil darüber hinaus gehend auch der Gestaltung dienen. Allerdings sind diese Instrumente bisher kaum auf die Berücksichtigung energetischer Aspekte ausgerichtet – ein Instrumentarium für die energiebezogene, d. h. Energieverbräuche, -effizienz und -einsparungen von technischen Systemen in den Mittelpunkt stellende, wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung existiert bislang nicht in ausgereifter Form.

Ein derartiges Instrumentarium sollte die folgenden Bausteine umfassen (vgl. Bild 3). Mit einer Energiekostenrechnung, wie sie von BIERER/GÖTZE vorgestellt wird, können die im Verlauf einzelner Perioden anfallenden Kosten der Bereitstellung von Energie (und ergänzend ggf. auch entsprechende Erlöse) erfasst und Betriebsbereichen sowie Produkten zugerechnet werden. Damit stellt sie auch Daten für die periodenübergreifende Bilanzierung und Bewertung bereit. Für diese und damit für die Vorbereitung von Entscheidungen, die sich über mehrere Perioden und Lebenszyklusphasen auswirken, eignet sich eine (energiebezogene) Lebenszyklusrechnung, wie sie von LINDNER/GÖTZE vorgeschlagen wird. Diese sollte um ein (energiebezogenes) Target Costing ergänzt werden, mit dem systematisch Vorgaben für die einzelnen Elemente der Lebenszykluskosten und somit auch (zumindest

indirekt) für die Energieverbräuche in die Gestaltung technischer Systeme und/oder ihrer Komponenten einbezogen werden können [5]. Schließlich bietet es sich an, (energiebezogene) Kennzahlen und Kennzahlensysteme in das Instrumentarium zu integrieren. Durch die komprimierte Darstellung von Informationen, bspw. zu energetischen, technischen und wirtschaftlichen Einflussgrößen, die den monetären Rechnungen zugrunde liegen, eignen sie sich zu deren Fundierung und darüber hinausgehend zur Kommunikation energetisch-wirtschaftlicher Tatbestände.



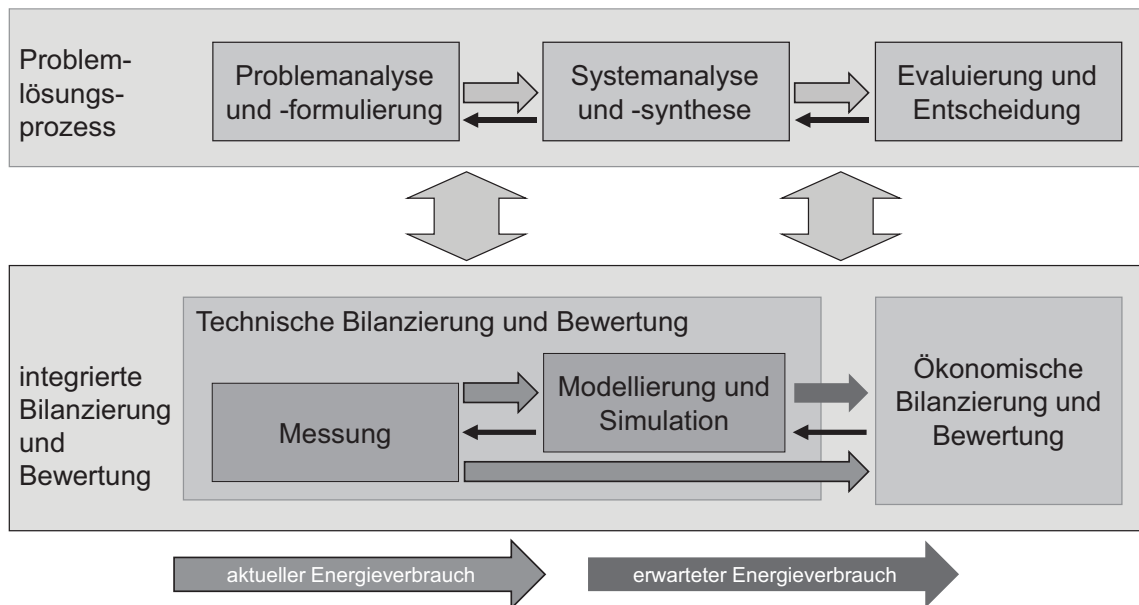
**Bild 3:** Instrumentarium der (energiebezogenen) wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung [4]

## 5 Integrierte energiebezogene technisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung

In den vorherigen Abschnitten wurden primär energetisch-technische sowie wirtschaftliche Bilanzierungs- und Bewertungsansätze erörtert – einleitend wurde aber bereits auch auf die Notwendigkeit eines integrierten Vorgehens hingewiesen. Dessen Elemente und deren Verbindungen werden in Bild 4 skizziert.

Die energiebezogene technische Bilanzierung und Bewertung kann sich der Messung sowie der Modellierung und Simulation bedienen, wobei beide insofern zusammenspielen, als Messergebnisse der Identifikation von zu modellierenden Verbrauchsschwerpunkten und der Modellvalidierung dienen. Die mit diesen Methoden ermittelten realen und erwarteten Energieverbräuche gehen in die (energiebezogene) ökonomische Bilanzierung und Bewertung von Systemen und deren alternative Gestaltungsmöglichkeiten ein (aus der wiederum Hinweise für die technischen Betrachtungen hervorgehen können). Der Umgang mit den Schnittstellen wird durch begriffliche und methodische Abstimmungen und Vereinheitlichungen erleichtert; als konkrete Beispiele hierfür seien das bereits angesprochene Sichtenmodell sowie das grundsätzlich zur energetisch-technischen wie wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung nutzbare Vorgehensmodell genannt.





**Bild 4:** Integrierte energiebezogene technisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung

Technische wie wirtschaftliche Bilanzierungs- und Bewertungsergebnisse wiederum sind in allen Phasen des ebenfalls in Bild 4 dargestellten Problemlösungsprozesses nutzbar und dienen damit der in eniPROD angestrebten energiesensitiven Gestaltung technischer Systeme. Im Rahmen des vorliegenden Sammelbandes wird dieser konkrete Anwendungsbezug besonders im Beitrag von NEUGEBAUER/SCHMIDT/DIX zur Identifikation ressourceneffizienter Kühlschmierstrategien für das Bohren deutlich.

### 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.; Sterzing, A.; Koriath, H.-J.: *Vision einer energieautarken Fabrik – Beitrag des Spitzentechnologieclusters eniPROD*. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): *Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik, Tagungsband zum 1. Internationalen Kolloquium des Spitzentechnologieclusters eniPROD*, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2010, S. 33-55
- [2] *Homepage des Spitzentechnologieclusters eniPROD*, URL: [www.eniprod.eu](http://www.eniprod.eu) [08.04.2011]
- [3] Götze, U.; Schmidt, A.; Weber, T.: *Vorgehensmodell zur Abbildung und Analyse des Lebenszykluserfolges von Werkstoffen – Konzeption und beispielhafte Veranschaulichung*. In: *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2010, 41(6), S. 464-475
- [4] Götze, U.; Koriath, H.-J.; Kolesnikov, A.; Lindner, R.; Paetzold, J.; Scheffler, C.: *Energetische Bilanzierung und Bewertung von Werkzeugmaschinen*. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): *Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik, Tagungsband zum 1. Internationalen Kolloquium des Spitzentechnologieclusters eniPROD*, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2010, S. 157-184
- [5] Bierer, A.; Götze, U.: *Target Costing-based Approach for Design to Energy Efficiency*. In: Hesselbach, J.; Herrmann, Chr. (Hrsg.): *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd – 4th, 2011, Springer Verlag, Berlin u.a., S. 635-640