

Lebenszykluskostenrechnung als Instrument der energiebezogenen wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung von Werkzeugmaschinen (*Life cycle costing as instrument for the evaluation of energy- and cost-effectiveness of machine tools*)

Lindner, R.¹; Götze, U.¹

¹ TU Chemnitz, Professur Unternehmensrechnung und Controlling

Abstract

Im vorliegenden Beitrag wird der Einsatz einer energiebezogenen Lebenszykluskostenrechnung zur Bewertung der langfristigen Wirtschaftlichkeit unterschiedlich energieeffizienter Werkzeugmaschinen sowie energieeffizienzbezogener Gestaltungsmaßnahmen empfohlen. Ausgehend von einer Status-quo-Betrachtung zu allgemeinen Lebenszyklusmodellen stellen die Autoren ein Vorgehensmodell vor, das den Anwendern des Instruments eine systematische und differenzierte Bestimmung, Analyse und Beeinflussung der Lebenszykluskosten ermöglichen soll. Da die energiebezogene wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung im Vordergrund der Betrachtung steht, wird zudem erörtert, wie speziell Energiekosten systematisch in dieses Modell einbezogen werden können.

This paper proposes an approach of an energy-related life cycle costing for the evaluation of the long-term profitability of various energy efficient machine tools and energy efficiency-related design measures. Based on the status quo of general life cycle models, the authors present a procedure model enabling users to determine, to analyze, and to affect the life cycle costs systematically and differentiated. Since the evaluation of energy- and cost efficiency is focused, specific aspects of the integration of energy costs with the model are discussed as well.

Keywords:

Lebenszykluskostenrechnung, Werkzeugmaschine, Energieeffizienz
life cycle costing, machine tool, energy efficiency

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

Langlebige Investitionsgüter wie Werkzeugmaschinen (WZM) verursachen häufig neben den Anfangs- auch hohe Folgekosten, wobei zwischen beiden Kostenkategorien Wechselwirkungen bestehen können. Dies gilt gerade beim Vergleich verschiedener Anlagen allgemein und speziell solcher mit unterschiedlicher Energieeffizienz sowie für Anlagen, die – unter Inkaufnahme höherer Anfangs- bzw. Anschaffungskosten – zu geringeren Folgekosten (u. a. der Energiekosten) führen. Daraus resultiert, wie in Bild 1 beispielhaft gezeigt, dass eine Fokussierung auf die Anschaffungskosten von WZM bei der Kaufentscheidung zur Wahl einer langfristig unwirtschaftlicheren Handlungsalternative führen kann (vgl. bspw. auch [1]). Die Ursache dafür ist, dass die kumulierte Differenz bei den Folgekosten (einschließlich Energiekosten) durch den Saldo der Anschaffungskosten schon nach relativ wenigen Jahren überkompensiert wird – eine Konstellation, die auch in der Unternehmenspraxis nicht selten auftreten wird (z. B. dann, wenn eine höhere Wartungsfreundlichkeit oder Energieeffizienz einer WZM nur im Zusammenhang mit höheren Anschaffungskosten erreichbar ist).

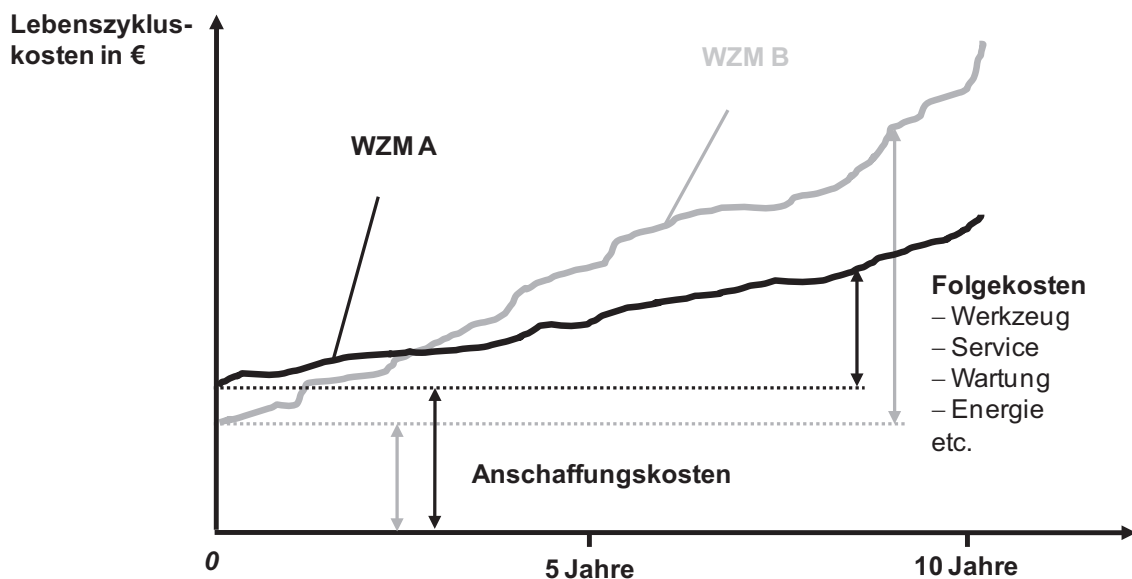


Bild 1: Entscheidungsbasis bei der Beschaffung von WZM (Quelle: leicht modif. übernommen von [2])

Demgemäß sind den Entscheidungen über Investitionsgüter wie WZM die **Lebenszykluskosten** zugrunde zu legen (jedenfalls wenn die Leistungen aller Handlungsalternativen gleich sind, wie hier vereinfachend unterstellt wird). Dabei handelt es sich um die auch als Total Cost of Ownership bezeichneten, aus Sicht eines Unternehmens (z. B. eines Betreibers von WZM) entscheidungsrelevanten Kosten, die insgesamt in dem Zeitraum von der Entstehung über den Betrieb bis hin zur Verwertung anfallen können. Um diese Lebenszykluskosten zu ermitteln und damit

deren Analyse, den Vergleich von Investitions- und Gestaltungsalternativen sowie die Identifikation von Kostensenkungspotentialen zu ermöglichen, werden **Lebenszykluskostenrechnungen** durchgeführt.

Der vorliegende Beitrag soll aufzeigen, wie diese Rechnungen aus Hersteller- und Nutzerperspektive zur Bilanzierung und Bewertung von WZM allgemein sowie speziell von hinsichtlich der Energieeffizienz verbesserten WZM genutzt werden können. Dazu wird im nächsten Abschnitt auf allgemeine Lebenszyklusmodelle als inhaltliche Basis eingegangen (Abschnitt 2). Darauf aufbauend ist Abschnitt 3 dem Vorgehen bei Lebenszykluskostenrechnungen gewidmet; mit Blick auf WZM wird ein entsprechendes Vorgehensmodell vorgestellt. Diese Überlegungen werden dann im vierten Abschnitt hinsichtlich der Berücksichtigung von Energiekosten in Lebenszykluskostenrechnungen für WZM verfeinert. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und einem Ausblick (Abschnitt 5).

2 Allgemeine Lebenszyklusmodelle

Der Ausgangspunkt allgemeiner Lebenszyklusmodelle ist das Lebenszykluskonzept. Dieses basiert auf der Erkenntnis, dass ähnlich wie für Lebewesen auch für die aus der Sicht eines Unternehmens relevanten Betrachtungsobjekte das „Gesetz des Werdens und Vergehens“ [3] gilt. Es lässt sich daher für sie jeweils ein Lebenszyklus abgrenzen, d. h. ein Zeitraum, über den sie entwickelt, geplant, erworben, erstellt, bearbeitet, genutzt, stillgelegt, entsorgt und/oder veräußert werden (bzw. zu Auswirkungen auf die Zielerreichung von Unternehmen führen).

Für bestimmte Typen von Objekten (wie Produkte, Potentialfaktoren etc.) sind allgemeine Lebenszyklusmodelle entwickelt worden. Diese beinhalten eine Strukturierung des Lebenszyklus durch Aufgliederung in Phasen oder Schritte und zielen auf eine Beschreibung und Erklärung grundlegender Zusammenhänge zwischen den Lebenszyklusphasen ab. Bild 2 zeigt die Phasen ausgewählter Lebenszyklusmodelle, die besonders für die Abbildung der Lebenszyklen von WZM (die je nach Perspektive als Produkt oder Potentialfaktor interpretierbar sind) geeignet erscheinen.

Es wird deutlich, dass die Phasenschemata der Lebenszyklusmodelle einander ähneln. Bei allen Modellen ist eine feinere Aufgliederung der Phasen in Teilabschnitte (bis hin zu einzelnen Prozessen) möglich und für eine differenzierte Analyse i. d. R. auch nötig. Der Systemlebenszyklus bspw. sieht die Differenzierung der Phasen Initiierung (in Problemerkennung, Abgrenzung der Systemaufgabe), Planung (in Konzeption, Design, Konstruktion), Realisierung (in Herstellung/Bau, Test/Einführung), Betrieb (in Nutzung, Instandhaltung) sowie Stilllegung vor (vgl. [6]).

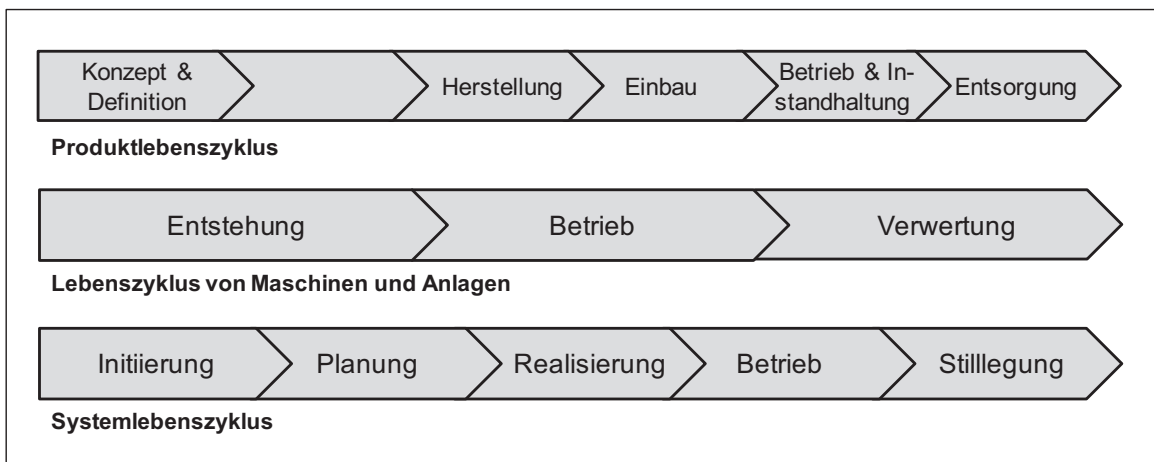


Bild 2: Ausgewählte allgemeine Lebenszyklusmodelle (Quelle: eigene Abb. auf Basis von [4, 5, 6])

Ein Kennzeichen der allgemeinen Lebenszyklusmodelle ist die Zuordnung typischer Eigenschaften, Aufgaben, Entscheidungen oder vorteilhaft erscheinender Handlungen zu einzelnen Lebenszyklusphasen. Außerdem werden Aussagen zu den charakteristischen Verläufen von monetären Größen über den Lebenszyklus und zu deren Beeinflussbarkeit getroffen. Dies umfasst auch den bewerteten und sachzielbezogenen Güterverzehr, der über die Lebenszyklusphasen aggregiert die Lebenszykluskosten des entsprechenden Systems – z. B. einer WZM – ergibt [6].

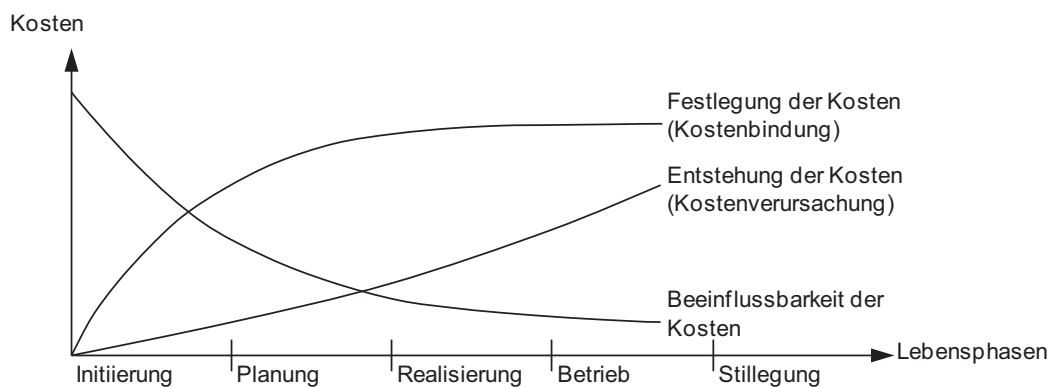


Bild 3: Kosten im Systemlebenszyklus (Quelle: in leicht mod. übern. von [6])

Wie in Bild 3 beispielhaft anhand des Systemlebenszyklus veranschaulicht, ist auch für WZM typisch, dass die entstehenden Kosten von der Initiierungs- bis zur Betriebsphase jeweils steigen, so dass große Teile der Lebenszykluskosten in der Realisierungs- und vor allem der Betriebsphase anfallen.¹ Die Festlegung der

¹ Die dargestellten Verläufe sind als Tendenzaussagen über die Entwicklungsrichtungen der einbezogenen Größen zu interpretieren und insofern unvollständig, als sie bereits in der Mitte der Betriebsphase enden, obwohl auch danach Kosten anfallen. Zudem sind andere Detailverläufe der Kosten denkbar.

Kosten erfolgt hingegen vor allem in den ersten Phasen des Lebenszyklus, in denen die Systemkonfiguration (und damit auch die Energieeffizienz) – bei zumindest anfänglich noch relativ schlechtem Informationsstand – weitestgehend bestimmt wird. Daraus resultiert die besonders hohe Bedeutung früher Lebenszyklusphasen. Diese Erkenntnisse sind für die konkrete Analyse und Gestaltung von WZM nutzbar; u. a. können sie den im Fokus des Beitrags stehenden Lebenszykluskostenrechnungen zugrunde gelegt werden.

3 Lebenszykluskostenrechnungen

Bei der Vorbereitung lebenszyklusbezogener Entscheidungen sind häufig langfristig genutzte Produkt- und Produktionssystem(element)e zu bewerten, bei denen die möglichen Ausgestaltungsformen zu unterschiedlich hohen Kosten in verschiedenen Lebenszyklusphasen führen [7]. Hierfür empfiehlt sich die Bildung und Auswertung spezifischer Lebenszyklusmodelle. Diese auch unter dem Begriff Life Cycle Costing zusammengefassten Lebenszyklusrechnungen dienen der Bilanzierung und Bewertung. Mit ihnen können die phasenspezifischen Kosten und Erlöse oder Zahlungen strukturiert erfasst, die gesamten monetären Wirkungen über den Lebenszyklus transparent dargestellt, Wechselwirkungen zwischen der Höhe dieser monetären Größen in verschiedenen Phasen identifiziert und analysiert sowie Handlungsalternativen bewertet werden. Sie lassen sich damit für die Wahl zwischen verschiedenen WZM ebenso nutzen wie für eine aktive Beeinflussung der Lebenszykluskosten bereits vorhandener oder zu entwickelnder Systeme einschließlich der Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen.

Auch für WZM werden die Durchführung von Lebenszykluskostenrechnungen empfohlen und Vorschläge für die Ausgestaltung einzelner Elemente dieser Rechnungen unterbreitet (vgl. [4, 5, 8, 9, 10]). Eine solche Modellbildung und -analyse mit hoher Aussagekraft durchzuführen, wird oft eine komplexe und anspruchsvolle Aufgabe darstellen, da nicht nur eine Reihe verschiedener Kostenkomponenten, sondern auch eine Vielzahl miteinander verbundener unternehmensexterner und -interner, technischer und wirtschaftlicher Einflussgrößen zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus bestehen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung dieser Größen und ihrer Wirkungen auf die Lebenszykluskosten oft gravierende Unsicherheiten. Um nun dennoch in strukturierter und konsistenter Form Analysen und Prognosen durchzuführen und Ergebnisse mit hoher Aussagekraft zu erzielen, wird hier die Nutzung eines Vorgehensmodells vorgeschlagen (Bild 4) (zu Hinweisen zum Ablauf des Life Cycle Costing vgl. [11], zu Elementen einer Lebenszyklusanalyse vgl. [1]).

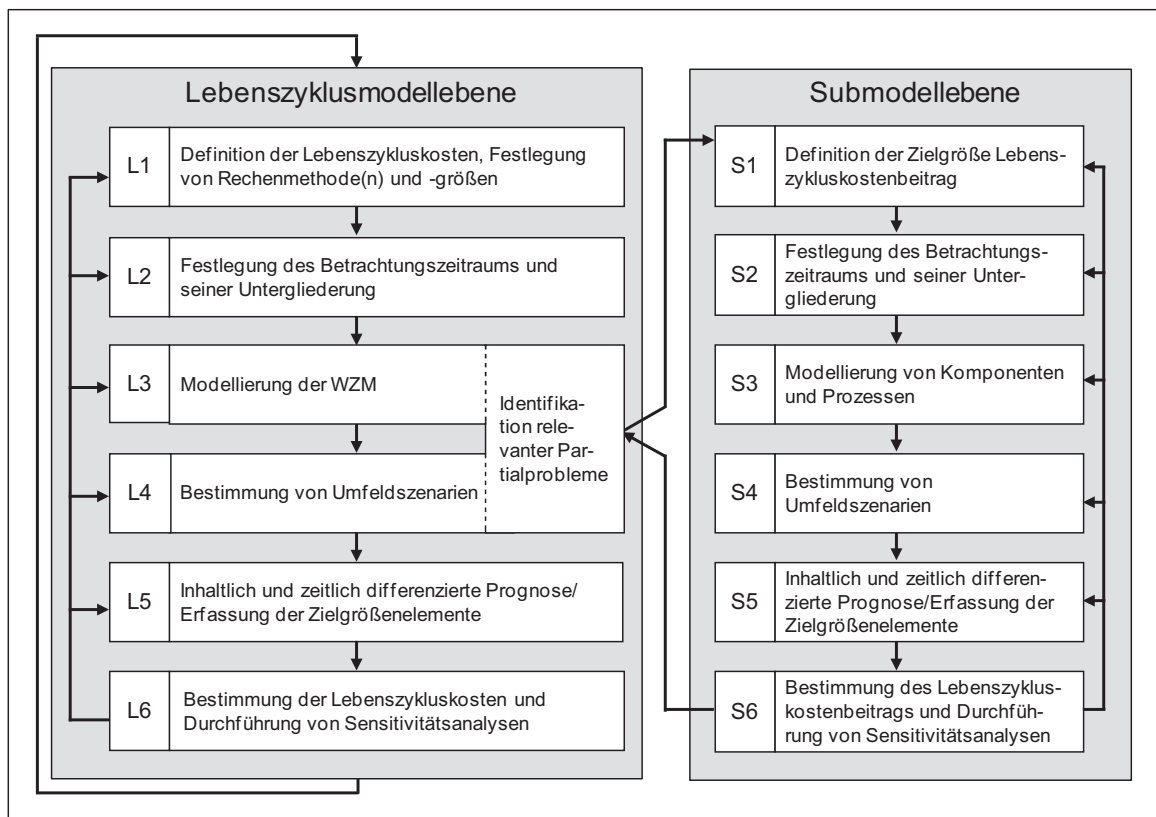


Bild 4: Vorgehensmodell zur Bildung und Analyse von Lebenszykluskostenmodellen für WZM (Quelle: modif. überm. von [12]).

Das primär auf die Prognose zukünftiger Lebenszykluskosten ausgerichtete Vorgehensmodell besteht aus zwei Ebenen. Auf der „übergeordneten“ **Lebenszyklusmodellebene** sollen im Vorfeld zu definierende und auf prinzipielle Realisierbarkeit zu überprüfende WZM hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten beurteilt werden. Die Lebenszykluskosten werden – wie erwähnt – von vielfältigen lebenszyklusphasenspezifischen Einflussgrößen determiniert ([13, 14]), zu denen auch die Ausgestaltung der WZM und ihrer Nutzung (bezüglich Fertigungsverfahren, der Werkzeuge und Vorrichtungen, der Automatisierung, ggf. auch der Energieeffizienz) zählt. Um deren Konsequenzen und die Wirkungen anderer Einflussgrößen strukturiert und konsistent in die Rechnungen einbeziehen zu können, ist eine „untergeordnete“ **Submodellebene** vorgesehen, in der Modelle zur Bestimmung der Ausprägungen von Einflussgrößen gebildet und analysiert werden. Die mit diesen gewonnenen Erkenntnisse dienen u. a. zur Vorbereitung von Partialentscheidungen und fließen anschließend in das „übergeordnete“ Lebenszyklusmodell ein.

Nachfolgend sollen die einzelnen Schritte der Modellbildung und -analyse auf der Lebenszyklusmodellebene kurz beschrieben und Gestaltungshinweise für sie vermittelt werden. Den Ausgangspunkt für die Ermittlung der Lebenszykluskosten bilden die Bestimmung der Zielgröße, der Rechenmethode und der Rechengrößen

(L1). Hier wird von einer Konzentration auf die monetäre Zielsetzung Lebenszykluskosten (unter der Nebenbedingung einer festgelegten Funktionalität, ökologischen Verträglichkeit etc.) ausgegangen und angesichts des tendenziell langen Wirkungszeitraums von WZM und damit der zur Wahl stehenden Gestaltungsalternativen für die Verwendung einer dynamischen Investitionsrechnung plädiert, da nur mit dieser langfristige Wirkungen, Veränderungen von Größen im Zeitablauf sowie Zinseszinsseffekte adäquat einbezogen werden können. Als konkretes Modell ist dann die Kapitalwertmethode und damit die Zielgröße Kapitalwert zu präferieren (vgl. [15]). Außerdem sollen die Berechnungen auf Basis von Auszahlungen anstelle der eher für kurzfristige Rechnungen geeigneten Kosten erfolgen (zu alternativen Rechnungskonzepten bei Lebenszyklusrechnungen vgl. [7]); dennoch wird der Einfachheit halber und in Anlehnung an die Verwendung in der Unternehmenspraxis weiter von Lebenszykluskosten gesprochen.

In Schritt **L2** wird – ausgehend von einem Lebenszyklusmodell (vgl. bspw. Bild 2) und der technischen Nutzungsdauer – der Betrachtungszeitraum bestimmt und in Perioden untergliedert.

Der dritte Schritt **(L3)** besteht in der (groben) Modellierung der WZM hinsichtlich ihrer Funktionen, Komponenten und Dimensionierung sowie der in ihr ablaufenden Prozesse als den Entscheidungsobjekten, zu deren „Optimierung“ die Lebenszykluskostenrechnung beitragen soll (zu einem „Maschinenstrukturmodell“ siehe [1]).

Die Gestaltungsoptionen und ihre Vorteilhaftigkeit werden maßgeblich durch das Umfeld der WZM beeinflusst, zu dem die Art, Eigenschaften und Anzahl der zu bearbeitenden Werkstücke bzw. herzustellenden Produkte, die Anforderungen an diese, die „umgebenden“ Fertigungs-, Logistik- und Instandhaltungsprozesse, gesetzliche Rahmenbedingungen und mitarbeiterbezogene Aspekte ebenso zählen wie weitere, wirtschaftliche Parameter (z. B. Energie- und andere Faktorpreise) (vgl. bspw. auch [1, 16]). Für die jetzigen und zukünftigen Ausprägungen dieser Einflussgrößen sind im vierten Schritt **(L4)** „Umfeldszenarien“ zu formulieren, die als wesentliches Element direkt auf den Einsatz der WZM bezogene Nutzungsszenarien umfassen (dazu [8]). Aus den Erkenntnissen des dritten und/oder vierten Schritts kann sich die Notwendigkeit tieferer Analysen einzelner Gestaltungsalternativen oder auch Umfeldbereiche ergeben, die dann in analoger Form auf der Submodellenebene erfolgt. Dies betrifft bei der WZM vor allem deren Komponenten und die ablaufenden Prozesse (wie Werkzeugwechsel, Positionierung, Bearbeitung etc.) [1].

Informationen über die aus den Partialentscheidungen resultierenden Zustände fließen anschließend gemeinsam mit solchen über die Ausprägungen weiterer identifizierter Einflussgrößen als Input in die Prognose der Kostenkomponenten ein **(L5)**. Dabei sind zunächst die für die wirtschaftliche Bewertung relevanten Wirkungen zu bestimmen, die aus der Ausgestaltung der WZM unter Beachtung der Einflussgrößen resultieren, wie bspw. Verbräuche von Betriebsstoffen, Stillstandzeiten oder Verschleißeffekte. Darauf basierend lassen sich dann – möglichst verursa-

chungsgerecht – die Zahlungen ermitteln, die in den Lebenszyklusphasen der WZM voraussichtlich anfallen werden.² Um dies zu erleichtern bzw. eine hohe Aussagekraft zu erreichen, sollte eine ausgeprägte zeitliche und inhaltliche Differenzierung der Kostenkategorien erfolgen. Dazu gehört (i) die Zuordnung der Kosten – auf der Basis der Unterscheidung von Lebenszyklusphasen – zu einzelnen Perioden bzw. Zeitpunkten. Eine solche liegt auch der nachfolgend dargestellten Berechnungsvorschrift für die Lebenszykluskosten (LZK_0), ermittelt als Kapitalwert bzw. Auszahlungsbarwert und damit als Summe aller auf einen Zeitpunkt (hier wie üblich auf den Beginn des Lebenszyklus bzw. $t = 0$) abgezinsten Kosten bzw. Auszahlungen, zugrunde (Formel (1)).

$$LZK_0 = \sum_{t=0}^E K_{et} \cdot q^{-t} + \sum_{t=E+1}^B K_{bt} \cdot q^{-t} + \sum_{t=B+1}^V K_{vt} \cdot q^{-t} \quad (1)$$

Dabei ist zunächst der Betrachtungszeitraum in die Abschnitte Entstehung, Betrieb und Verwertung (e, b, v) untergliedert worden, für die spezifische, in den jeweiligen Zeitpunkten t anfallende Kosten (K_{pt} mit $p = e, b, v$) zu prognostizieren bzw. zu erfassen sind. E , B und V bezeichnen jeweils die Endpunkte der Entstehungs-, Betriebs- und Verwertungsphase, q^{-t} den Abzinsungsfaktor (mit $q = 1 + i$ und i als Kalkulationszinssatz). Außerdem ist unterstellt, dass die Betriebs- im Anschluss an die Entstehungsphase und die Verwertungs- im Anschluss an die Betriebsphase beginnen und die Kosten jeweils am Periodenende anfallen.

Eine weitere Differenzierung lässt sich (ii) erreichen, indem eine separate Ermittlung und Einbeziehung von Kosten erfolgt, die in Verbindung mit einzelnen Komponenten der WZM (vgl. auch [1, 17, 18]) und den in diesen ablaufenden Prozessen entstehen. Zudem kann (iii) in Anlehnung an die übliche Untergliederung in Kostenarten eine Unterscheidung von Kostenkategorien wie Personal-, Material- und Energiekosten, Abschreibungen, Zinsen, Instandhaltungskosten etc. vorgenommen werden (ähnlich [5, 8, 19]). Bild 5 zeigt eine mögliche Strukturierung von Kostenkategorien, aus der sog. Kostenelemente einer WZM, bspw. die in der Betriebsphase für den Hauptantrieb anfallenden Instandhaltungskosten, resultieren.³ Zusätzlich sind weitere Differenzierungen (z. B. hinsichtlich Akteuren, Aktivitäten etc.) möglich, deren Visualisierbarkeit durch die Dimensionen des Würfels beschränkt wird.

² Hierbei kann sich analog zur Kostenrechnung das Problem stellen, das eine WZM bestimmte Ressourcen gemeinsam mit anderen Objekten beansprucht (Gemeinkostenproblematik). Auf die Lösungsansätze – anteilige Zurechnung von Gemeinkosten oder Vorgabe von Deckungslasten – kann hier nicht näher eingegangen werden (vgl. hierzu [7]).

³ Es ist darauf hinzuweisen, dass einerseits Freiheitsgrade für die konkrete Aufgliederung bestehen und andererseits Abgrenzungsschwierigkeiten bei dieser zu erwarten sind (so enthalten z. B. auch die Instandhaltungskosten Personalkosten).

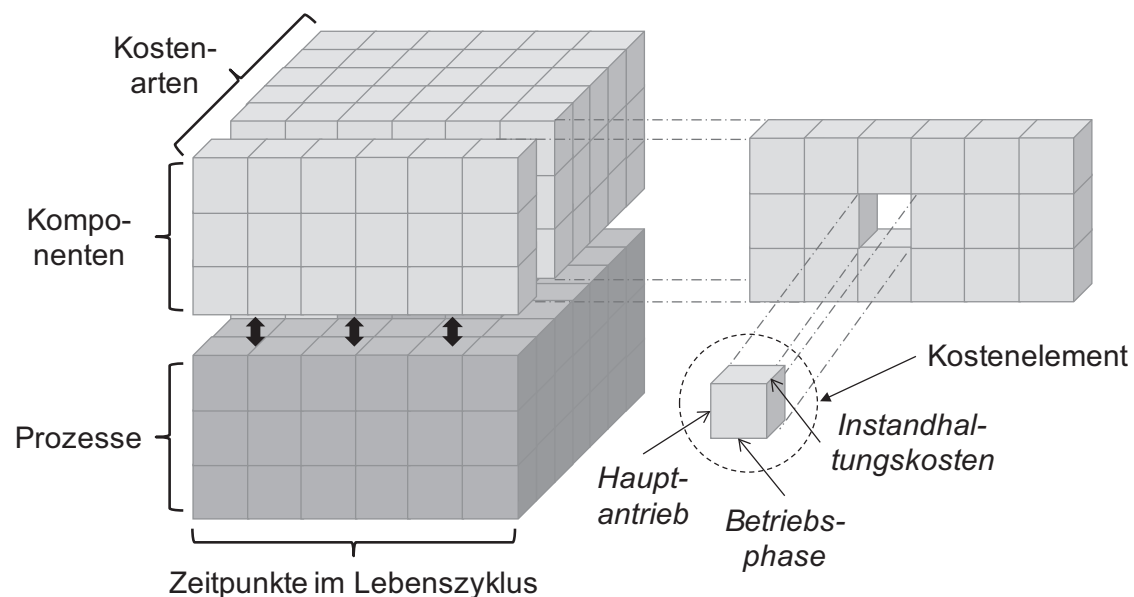


Bild 5: Kostenelemente einer WZM (Quelle: leicht mod. übern. von [4])

Die Prognose der Zahlungen und der ihnen zugrunde liegenden Ausprägungen und Wirkungen von Einflussgrößen stellt eine besondere Herausforderung dar. Begegnen lässt sich dieser insbesondere mit der Schaffung einer adäquaten Daten- bzw. Wissensbasis (über Betriebsmittelinformationssysteme, Betriebsdatenerfassungssysteme, Messungen, analytische und simulative Berechnungen [4], eine mehrperiodig ausgestaltete Anlagenkostenrechnung etc.).

Der letzte Schritt (**L6**) umfasst zum einen die Bestimmung der Lebenszykluskosten in Form eines Kapitalwerts. Dieser kann als Grundlage für die Entscheidungsfindung dienen; so ist beim Vergleich mehrerer, z. B. unterschiedlich energieeffizienter WZM, diejenige mit dem höchsten Kapitalwert und damit den geringsten Lebenszykluskosten vorteilhaft. Zum anderen bietet es sich gerade angesichts der Problematik der Datengewinnung und der damit verbundenen Unsicherheit an, Sensitivitätsanalysen in Form von „Wenn-dann-Rechnungen“ und/oder zur Ermittlung kritischer Werte durchzuführen, um das bestehende Ausmaß an Unsicherheit (zu Ursachen hierfür vgl. [4, 18, 20]) abzuschätzen, besonders relevante Modellparameter zu identifizieren, deren maximal zulässige Abweichungen zu ermitteln und gezielte Maßnahmen zur Gegensteuerung abzuleiten.

Das gesamte Vorgehen bei der Durchführung von Lebenszykluskostenrechnungen für WZM ist nicht als streng sequentieller Vorgang mit nur einmaligem Durchlauf aufzufassen. Vielmehr wird es – ggf. mehrfach – notwendig sein, die Prämissen zu hinterfragen, inhaltliche Korrekturen vorzunehmen und/oder neue Werte für die Submodelle zu ermitteln, bis eine fundierte Entscheidungsgrundlage geschaffen ist.

Schließlich ist zum einen zu erwähnen, dass das Vorgehensmodell zwar mit Blick auf die Prognose der Lebenszykluskosten (vor allem in relativ frühen Lebenszy-

klusphasen) formuliert worden ist, in ähnlicher Form aber auch für Kontrollrechnungen mit Ist-Werten genutzt werden kann und sollte. Zum anderen können die Rechnungen aus verschiedenen Perspektiven durchgeführt werden: aus der Sicht einer Supply Chain, die sich auf WZM bezieht bzw. in der WZM genutzt werden (dies ist für Hersteller oder Nutzer von WZM dann sinnvoll, wenn sie eine „Gesamtoptimierung“ der Kette anstreben), vor allem aber aus der Sicht einzelner Hersteller, Nutzer und/oder Verwerter von WZM unter Einbeziehung nur der für sie jeweils anfallenden Zahlungen, um die für sie jeweils beste Handlungsalternative zu identifizieren (ähnlich [8]).

4 Berücksichtigung von Energiekosten in Lebenszykluskostenrechnungen

Die steigende Relevanz von Energiekosten führt zu der Frage, wie diese differenziert und mit hoher Aussagekraft in Lebenszykluskostenrechnungen erfasst und analysiert werden können, um damit die gezielte Vorbereitung der in Abschnitt 1 beschriebenen energiebezogenen Entscheidungen zu ermöglichen. In der Literatur finden sich lediglich vereinzelte Ansätze hierzu. So sind bspw. in [4] die Energiekosten neben den Arbeits- und Materialkosten usw. als typische Kategorien der Betriebskosten eines Produktes aufgeführt (ähnlich auch in [5]). In [8] finden sich die während der Nutzung von Produktionsanlagen entstehenden Kosten für Betriebs- und Hilfsstoffe wie Wasser, Luft, Gase, Schmiermittel, Kühlmittel, Hydrauliköl sowie für elektrische Energie im Leerlauf und unter Last. Für jeden dieser Posten soll der Bedarf pro Betriebsstunde angegeben werden, um anschließend eine wirtschaftliche Bewertung vornehmen zu können. Die Ermittlung der Energiekosten als solches wird jedoch nicht thematisiert. Die Energiekosten differenziert zu bestimmen, schlagen mehrere Autoren mit Blick auf verschiedene Energieträger (vgl. [5]), Komponenten und Zeitpunkte (zu beidem vgl. [1, 14, 17]) vor. Auf Einflussgrößen der Energieeffizienz bzw. -kosten und/oder Ansatzpunkte zu ihrer Erhöhung bzw. Verringerung wird u. a. in [14] und [17] hingewiesen.

Hier wird dafür plädiert, das in Abschnitt 3 dargestellte Instrumentarium – insbesondere das in Bild 4 vorgestellte Vorgehensmodell – für eine umfassende und systematische Einbeziehung von Energiekosten in Lebenszykluskostenrechnungen zu spezifizieren. Dabei wird weiterhin von der Zielgröße Lebenszykluskosten (**L1**), der Nutzung der Kapitalwertmethode sowie der Rechengrößen Zahlungen ausgegangen. Die nun besonders im Fokus stehenden Energiekosten stellen einen (tendenziell steigenden) Anteil dieser Lebenszykluskosten dar [1], wobei zu beachten ist, dass sie nicht nur die Bezugskosten für Energieträger umfassen (wie in [1] unterstellt), sondern auch die Kosten der Energiewandlung, der betrieblichen Energieverteilnetze, der Energieträgerlagerung, der Entsorgung energiebezogener Abfälle

und der energiebezogenen lenkenden und administrativen Aktivitäten; kurz: den gesamten durch den Energieeinsatz im betrieblichen Leistungserstellungs- und -verwertungsprozess bedingten und bewerteten Güterverzehr ([21, 22, 23]). Der Betrachtungszeitraum ist so zu determinieren und in Zeitabschnitte aufzugliedern (**L2**), dass eine differenzierte Erfassung und Analyse der den Energiekosten zugrunde liegenden Größen (wie z. B. Energieverbräuche) möglich ist. In diesem Zusammenhang sind ggf. auch die Zeiträume festzulegen, über die Energieverbrauchsdaten mittels Messungen und Berechnungen (analytisch bzw. simulativ) bestimmt werden, um daraus auf die Verbräuche des gesamten Betrachtungszeitraums schließen zu können.

In Schritt **L3** erfolgt die Modellierung der Funktionen und Komponenten einer WZM sowie der ablaufenden Prozesse unter besonderer Berücksichtigung der Energieflüsse. Zu deren Darstellung lassen sich u. a. Sankey-Diagramme und Energiebilanzen nutzen (vgl. bspw. [14]). Der nächste Schritt (**L4**) beinhaltet die Identifikation und Analyse der relevanten Einflussgrößen auf den Energieverbrauch (zu solchen vgl. bspw. [14]), für deren konkrete Ausprägungen, wie oben erwähnt, Umfeldszenarien zu formulieren sind. Diese umfassen die Entwicklung der Energiepreise (einschließlich Umweltabgaben etc.) als wichtiger unternehmensexterner Faktor ebenso wie die von unternehmensspezifischen internen Nutzungsszenarien (vgl. dazu bspw. [17]). Ergibt sich die Notwendigkeit tiefergehender Untersuchungen einzelner Gestaltungsalternativen oder auch Einflussgrößen, kann diese z. B. für einzelne Komponenten oder aber Energiearten bzw. -träger auf der Submodellenebene erfolgen (auch die vertiefende Betrachtung von Energiekosten insgesamt lässt sich als spezifische Submodellbildung und -analyse interpretieren).

Als Basis für die Bestimmung der lebenszyklusbezogenen Energiekosten in **L5** sind zunächst die Wirkungen der relevanten Einflussgrößen wie Lastgänge, Druckluftbedarfe etc. und die daraus resultierenden Energieverbräuche zu ermitteln (zu unternehmensbezogenen Energiekosten und ihrer Berechnung vgl. den Beitrag von BIERER/GÖTZE in diesem Band). Dazu lassen sich insbesondere Messungen und analytische sowie simulative Berechnungen nutzen (vgl. hierzu [17] sowie die Beiträge von PAETZOLD und KOLESNIKOV/WABNER in diesem Band). Anschließend sind die Energieverbräuche mit Energiepreisen (und zwar mit externen oder internen Preisen, je nachdem, ob es sich um fremdbezogene oder eigenerstellte Energiegüter und -dienstleistungen handelt) zu bewerten, um die Energiekosten zu erhalten. Diese sind differenziert für die Perioden des Betrachtungszeitraums zu bestimmen, um lebenszyklusbezogene Kosten berechnen zu können; darüber hinaus lassen sich die Energiekosten inhaltlich nach Komponenten, Prozessen sowie Energieformen differenzieren (analog zur Darstellung in Bild 5).

In Schritt **L6** erfolgt schließlich die Ermittlung der (lebenszyklusbezogenen) Energie- sowie der gesamten Lebenszykluskosten. Diese kann wiederum um Sensitivitätsanalysen zur Berücksichtigung der Unsicherheit ergänzt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde aufgezeigt, wie die lebenszyklusbezogenen Energiekosten und die gesamten Lebenszykluskosten von WZM systematisch, differenziert und transparent ermittelt und analysiert werden können. Das präsentierte Vorgehensmodell ermöglicht es, sowohl diverse Einflussgrößen als auch die Vielzahl komponentenbezogener und -übergreifender Gestaltungsalternativen konsistent zu berücksichtigen. Es trägt damit zu einer aussagekräftigen Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von WZM und von Maßnahmen zur Verbesserung ihrer Energieeffizienz unter Einbeziehung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Kostenkomponenten (wie Anfangs- und Folgekosten, inkl. Energie- und Instandhaltungskosten) bei.

Neben diesen Potentialen ist jedoch auch noch Forschungsbedarf hinsichtlich der (energiebezogenen) Lebenszykluskostenrechnung zu verzeichnen. Dies betrifft die adäquate Ausgestaltung einzelner Schritte ebenso wie die Einbeziehung von Erlösen bzw. Einzahlungen und die Verknüpfung der energiebezogenen Lebenszykluskostenrechnung mit weiteren Methoden zu einem integrierten Bilanzierungs- und Bewertungsinstrumentarium (vgl. auch den Beitrag von NEUGEBAUER/GÖTZE/PAETZOLD in diesem Band). Unter anderem bleibt zu untersuchen, wie das wirtschaftlich ausgerichtete Life Cycle Costing mit dem ökologisch/technisch fokussierten Life Cycle Assessment verknüpft werden kann.

Zu einem erfolgreichen praktischen Einsatz der Lebenszyklusrechnungen kann zum einen der Aufbau einer Wissensbasis durch anlagenspezifische Erfassung und Auswertung von (Energie-)Daten beitragen (vgl. [24]). Zum anderen ist eine enge Zusammenarbeit innerhalb einzelner Unternehmen (zwischen Entwicklung/Konstruktion, Einkauf, Produktion, Controlling/Finanzen) wie auch mit Supply Chain-Partnern zu empfehlen.

Acknowledgement

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] Abele, E.; Dervisopoulos, M.; Kuhrke, B.: Bedeutung und Herausforderungen der Lebenszyklusanalyse am Beispiel Werkzeugmaschine, in: Schweiger, S. (Hrsg.): *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*, Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009, S. 60-80
- [2] Noske, H.; Kalogerakis, C.: *Design-to-Life-Cycle-Cost bei Investitionsgütern am Beispiel von Werkzeugmaschinen*, in: Schweiger, S. (Hrsg.): *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*, Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009, S. 135-151
- [3] Meffert, H.: *Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, Konzepte – Instrumente – Praxisbeispiele, mit neuer Fallstudie VW-Golf*, 9. Aufl., Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2000
- [4] DIN EN 60300-3-3:2004: *Zuverlässigkeitsmanagement, Teil 33: Anwendungsleitfaden Lebenszykluskosten*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2004
- [5] Entwurf VDMA 34160:2006-0: *Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006
- [6] Wübbenhorst, K. L.: *Konzept der Lebenszykluskosten - Grundlagen, Problemstellungen und Technologische Zusammenhänge*, Verlag für Fachliteratur, Darmstadt, 1984
- [7] Götze, U.: *Kostenrechnung und Kostenmanagement*, 5. Aufl., Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg, 2010
- [8] VDI 2884:2005: *Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC)*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005
- [9] Osten-Sacken, D. v. d.: *Lebenslauforientierte, ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen*, Jost Jetter Verlag, Heimsheim, 1999
- [10] Schweiger, S. (Hrsg.): *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*, Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009
- [11] Assfalg, H.; Zehbold, C.: *Frühzeitiges Kostenmanagement*, in: Müller, A.; Uecker, P.; Zehbold, C. (Hrsg.): *Controlling für Wirtschaftsingenieure, Ingenieure und Betriebswirte*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München; Wien, 2003, S. 240-262
- [12] Götze, U.; Schmidt, A.; Weber, Th.: *Vorgehensmodell zur Abbildung und Analyse des Lebenszykluserfolgs von Werkstoffen – Konzeption und beispielhafte Veranschaulichung*, in: *MWT*, 2010, 41(6), S. 464-475

- [13] Bunting, F.: *Lebenszykluskostenbetrachtungen bei Investitionsgütern*, in: Schweiger, S. (Hrsg.): *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*, Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009, S. 35-50
- [14] Abele, E.; Kuhrke, B.; Rothenbücher, S.: *Entwicklungstrends zur Erhöhung und Bewertung der Energieeffizienz spanender Werkzeugmaschinen*, in: Neugebauer, R. (Hrsg.): *Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik, Tagungsband zum 1. Internationalen Kolloquium des Spitzentechnologieclusters eniPROD*, Technische Universität Chemnitz, Fraunhofer IWU, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2010, S. 99-120
- [15] Götze, U.: *Investitionsrechnung, Modelle und Analysen zur Vorbereitung von Investitionsentscheidungen*, 6. Aufl., Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg, 2008
- [16] Boge, C.: *LCC/TCO aus Sicht eines Werkzeugmaschinenherstellers*, in: Schweiger, S. (Hrsg.): *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*, Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009, S. 117-133
- [17] 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*, Technische Universität Chemnitz, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2010, S. 157-184
- [18] Köllner, T.; Wieser, R.; Striefler, M.: *Betrachtungen zu Life-Cycle-Costing bei Werkzeugmaschinen aus der Sicht eines Automobilzulieferers*, in: Schweiger, S. (Hrsg.): *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*, Gabler/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009, S. 97-116
- [19] Viebahn, U.: *Kostengrundlagen der Werkzeugmaschinen*, in: Conrad, K.-J.: *Taschenbuch der Werkzeugmaschinen*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München; Wien, 2002, S. 47-65
- [20] Dervisopoulos, M.; Schatka, A.; Torney, M.: *Life Cycle Costing im Maschinen- und Anlagenbau*, in: *Industrie Management*, 2006, 22(6), S. 55-58
- [21] Schmidt, F. J.: *Erfassung und Verrechnung der Energiekosten – eine Rationalisierungsaufgabe*, in: *Rationalisierung*, 1960, 11(3), S. 49-72
- [22] Kern, W.: *Aktuelle Anforderungen an die industriebetrieblische Energiewirtschaft*, in: *Die Betriebswirtschaft*, 1981, 41(1), S. 3-22

- [23] Fünfgeld, C.: Quantifizierung energierelevanter Kosten als Anreiz zur rationalen Energieverwendung, in: *Innovationen bei der rationalen Energieanwendung – neue Chancen für die Wirtschaft*, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1998, S. 95-104
- [24] Buschmann, M.: Bedeutung der Energiedatenerfassung für ein nachhaltiges Energiemanagement im Fabrikbetrieb, 4. Fachtagung: Energieeffiziente Fabrik in der Automobil-Produktion, München, 8. und 9. Februar 2011