



Kurzstudie

**Wirtschaftlichkeitsbewertung:  
Bewertung der wirtschaftlichen Potenziale von  
energieeffizienten Anlagen und Maschinen**

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Karlsruhe, August 2011

Dipl.-Wi.-Ing. Katharina Mattes

Breslauer Straße 48

76139 Karlsruhe

[katharina.mattes@isi.fraunhofer.de](mailto:katharina.mattes@isi.fraunhofer.de)

Tel.: 0721 6809 302

Dr. Marcus Schröter

Breslauer Straße 48

76139 Karlsruhe

[marcus.schroeter@isi.fraunhofer.de](mailto:marcus.schroeter@isi.fraunhofer.de)

Tel.: 0721 6809 338

 **Fraunhofer**  
ISI

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	3
2.	Energieeinsparpotenziale im Verarbeitenden Gewerbe .....	5
3.	Lebenszykluskosten als Bewertungsansatz .....	7
4.	Verbreitung des Lebenszykluskostenansatzes im Verarbeitenden Gewerbe.....	9
5.	Modelle und Herausforderungen bei der Berechnung der Lebenszykluskosten energieeffizienter Maschinen und Anlagen .....	10
6.	Fazit.....	17
7.	Danksagung .....	18
8.	Anhang .....	18
9.	Literatur .....	19

## 1. Einleitung

Energie- und Ressourceneffizienz ist für Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft ein strategisch wichtiges Thema, das insbesondere durch politische Vorgaben und Richtlinien zu Effizienzmaßnahmen, der Verknappung und Verteuerung von Rohstoffen sowie der Forderung nach niedrigeren Produktionskosten zum Erhalt der globalen Wettbewerbsfähigkeit stimuliert wird [Schröter et al. 2009; VDI Nachrichten 2010]. Die besondere Rolle des Verarbeitenden Gewerbes bei diesem Thema verdeutlicht beispielsweise eine Betrachtung des Endenergieverbrauchs in Deutschland: Mit etwa 46 Prozent sind das Verarbeitende Gewerbe sowie der Bergbau der größte Stromkonsument (vgl. Abbildung 1).

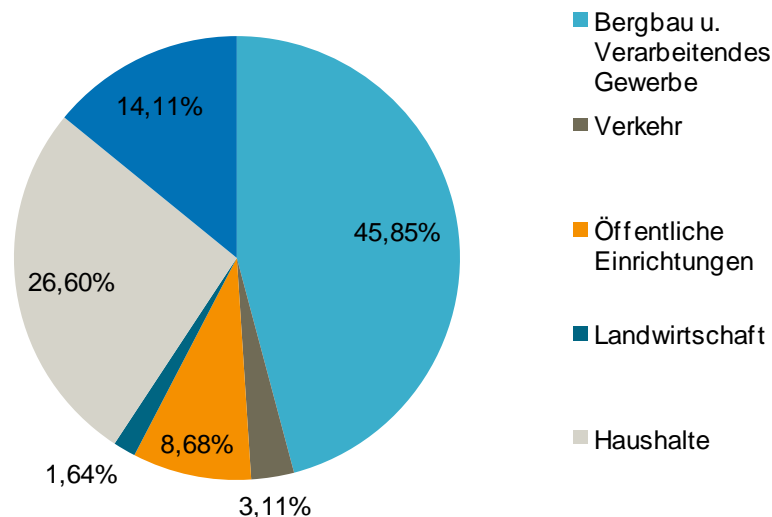


Abbildung 1: Verteilung des Nettostromverbrauchs in Deutschland 2010, Quelle: [AG Energiebilanzen e.V. 2011]

Der Endenergiebedarf wird auch im Maschinenbau immer stärker zu einem bedeutenden Kostenfaktor. So macht beispielsweise der Energieverbrauch, inkl. Druckluftverbrauch bei Werkzeugmaschinen, bereits heute einen Anteil von 20 – 25 Prozent an den Betriebskosten einer Werkzeugmaschine aus, die Anschaffungskosten belaufen sich lediglich auf 20 Prozent (vgl. Abbildung 2) [Abele 2010; Kührke et al. 2010; Schischke et al. 2011].

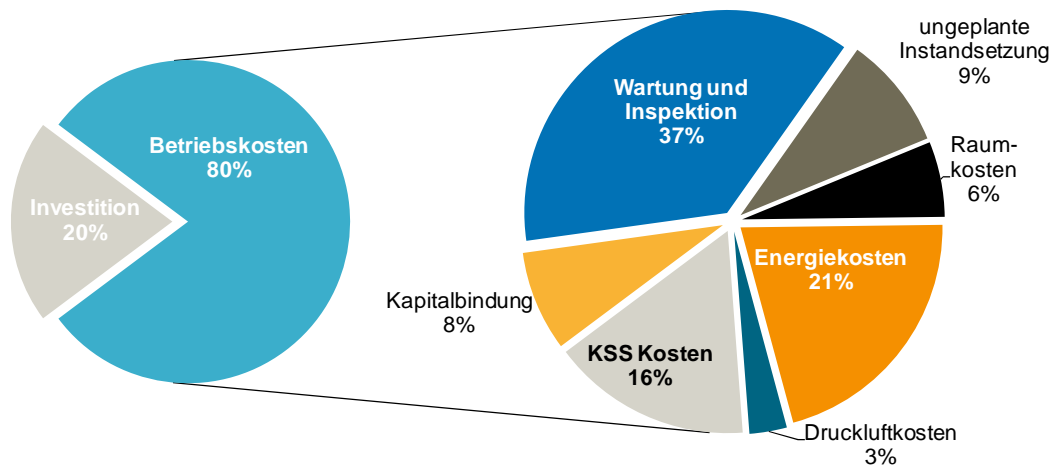


Abbildung 2: Lebenszykluskosten bei Werkzeugmaschinen [Abele 2010]

Bei anderen energieintensiven Investitionsgütern des Maschinenbaus, wie z. B. Pumpen, haben die Energiekosten einen signifikanten Anteil an den Lebenszykluskosten mit über 80 Prozent, während die Anschaffungskosten oftmals nur einen Bruchteil betragen (vgl. Abbildung 3). Dennoch werden Investitionsentscheidungen häufig auf Basis des Anschaffungspreises getroffen, ohne die Betriebs- bzw. Energiekosten zu berücksichtigen [Schröter et al. 2009].

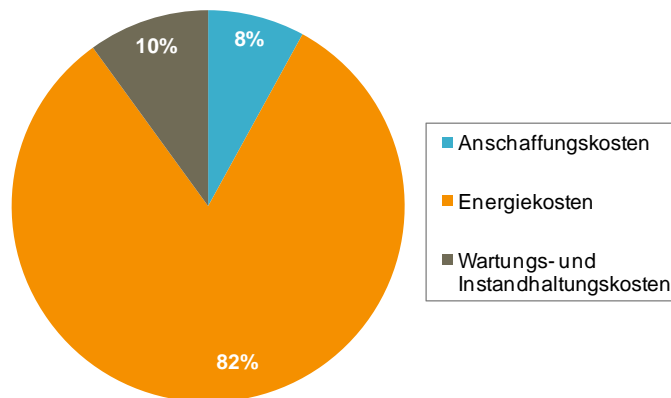


Abbildung 3: Lebenszykluskosten am Beispiel von Pumpen [dena - Deutsche Energie-Agentur 2011]

Vor dem Hintergrund der steigenden Bedeutung der durch den Ressourcen- und Energieverbrauch entstehenden Kosten ist es für Betriebe relevant zu wissen, welche Einsparpotenziale in der Produktion derzeit bestehen, wie diese Potenziale bestimmt und

welche Maßnahmen zur Bewertung der zu erschließenden Potenziale existieren. Diese Fragestellungen beleuchtet der vorliegende Artikel.

## 2. Energieeinsparpotenziale im Verarbeitenden Gewerbe

Da der größte Stromkonsument in Deutschland das Verarbeitende Gewerbe inklusive des Bergbaus darstellt, lohnt sich eine genauere Analyse der dort verfügbaren Energieeinsparpotenziale. Im Rahmen der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2009*, die vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung durchgeführt wurde, sind rund 1.500 Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes u. a. hinsichtlich dieser Fragestellung sowie eingesetzter Produktionsstrategien, innovativer Technik- und Organisationskonzepte befragt worden. Die Ergebnisse zeigen, dass die befragten Betriebe ihr vorhandenes Energieeinsparpotenzial auf durchschnittlich 15 Prozent einschätzen (vgl. Abbildung 4). Insgesamt entspricht dies einem Äquivalent von 5 Milliarden Euro Energiekosten, die im Verarbeitenden Gewerbe eingespart werden können [Schröter et al. 2009].

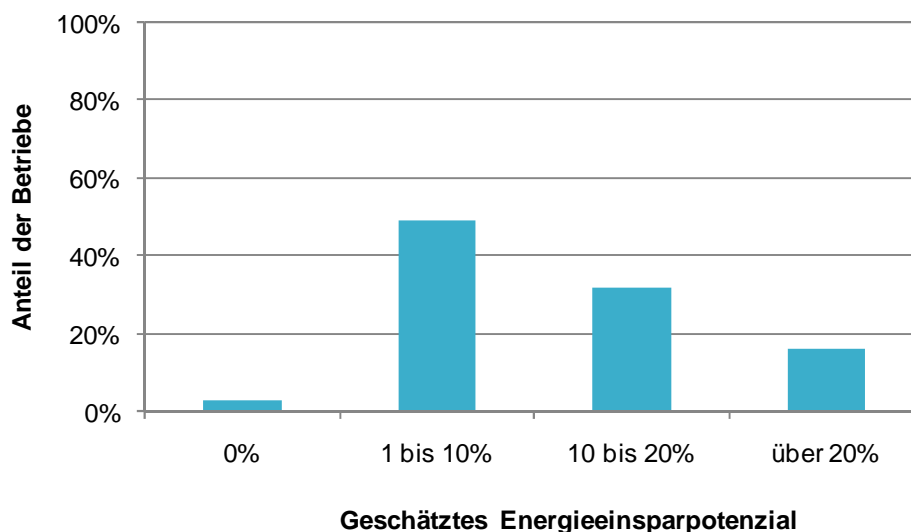


Abbildung 4: Energieeinsparpotenzial im Verarbeitenden Gewerbe, N = 1.321, Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion 2009*, ISI

Eine vertiefte Analyse zeigt, dass sich das geschätzte Energieeinsparpotenzial auf Branchenebene erheblich unterscheidet. Mehr als die Hälfte der Betriebe aus energieintensiven Branchen, wie der Glas- und Keramikindustrie, der chemischen Industrie und dem Papiergewerbe beziffern ihr Energieeinsparpotenzial auf maximal 10 Prozent.

Im Gegensatz dazu schätzt mehr als die Hälfte der Betriebe aus dem Fahrzeugbau und dem Maschinenbau, dass in ihrer Produktion noch ein Energieeinsparpotenzial von mehr als 10 Prozent existiert. Etwa ein Fünftel der Betriebe aus diesen Branchen taxieren ihr Einsparpotenzial sogar auf über 20 Prozent [Schröter et al. 2009]. Diese Streuung der Energieeinsparpotenziale im Bezug auf die verschiedenen Branchen lässt sich vor allem durch die unterschiedlich eingesetzten Produktionsprozesse sowie die jeweiligen Anteile der Energiekosten an den Gesamtkosten erklären. So ist der Energieverbrauch in den energieintensiven Branchen schon seit langem ein relevanter Kostenfaktor, der bereits zu Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen und zu einer Verringerung des Einsparpotenzials geführt hat [Schröter et al. 2009]. Verschiedene Studien zeigen, dass existierende Einsparpotenziale wirtschaftlich erschlossen werden könnten, die entsprechenden Maßnahmen, wie beispielsweise eine Vermeidung der Überdimensionierung von Anlagen und Maschinen oder eine Verringerung des Energieverbrauchs während Stillstandszeiten, von den jeweiligen Unternehmen nicht umgesetzt werden [Drillisch 1996; Irrek 2004; Irrek, Thomas 2011; Rothenbücher, Kührke 2010]. Zu den Gründen hierfür zählen beispielsweise Kapitalmangel sowie eine höhere Risikobewertung von Energieeffizienzmaßnahmen durch Unternehmen [Sorrell et al. 2000]. Eine höhere Risikobewertung einer Investition resultiert in der Regel daraus, dass die Unsicherheit hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit der Maßnahme als vergleichsweise hoch angesehen wird. Die Wahrnehmung der Unsicherheit wird etwa durch die Energiepreisentwicklung, die Veränderung von gesetzlichen Vorgaben, die Technologieentwicklung sowie fehlendes Wissen über die technische Zuverlässigkeit der Energieeffizienztechnologien beeinflusst [Irrek, Thomas 2010; Nilsson, Wene 2002; Schmid 2004]. Ebenso werden die Budgetierungspraktiken der Unternehmen als Hemmnis wahrgenommen. So werden beispielsweise die Energiekosten nicht den entsprechenden Abteilungen zugeordnet, so dass für diese keine Anreize zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen bestehen [Sorrell et al. 2004]. Darüber hinaus herrscht aktuell noch weitestgehend Intransparenz, welche Energieeinsparpotenziale auf Unternehmensebene tatsächlich erreicht werden können [Kührke et al. 2010].

Diese Unsicherheiten sind damit ein wesentlicher Faktor dafür, dass Investitionsentscheidungen oft auf Basis der Anschaffungskosten getroffen werden, ohne dabei die Folgekosten wie den Energieverbrauch zu berücksichtigen. Dadurch werden energieeff-

fiziente Anlagen und Maschinen, die oftmals teurer hinsichtlich ihrer Anschaffungskosten sind, seltener ausgewählt [Abele, Eisele 2010; Wouters 2010].

Um diese Hemmnisse zu reduzieren und die Nachfrage von energieeffizienten Investitionsgütern zu steigern, ist eine verlässliche Kostentransparenz hinsichtlich der Folgekosten notwendig. Dadurch können Anbietern auch Verkaufsargumente für energieeffiziente Lösungen bereitgestellt werden [Denkena et al. 2010; Lauven et al. 2010]. Zur Realisierung einer einheitlichen Vorgehensweise, mit der sowohl die benötigten Energie- und Medienverbrauchswerte abgeleitet werden können als auch eine transparente, ganzheitliche Berechnung über den gesamten Nutzungszeitraum bzw. Lebenszyklus der Anlage erzielt werden kann, bietet sich das Lebenszykluskostenkonzept als Bewertungsansatz an [Abele, Eisele 2010; Rudolph et al. 2010].

### **3. Lebenszykluskosten als Bewertungsansatz**

Das Konzept der Lebenszykluskosten dient zur ganzheitlichen Analyse aller Kosten von der Entstehung bis zur Verwertung [Kralj 1999; Seewöster 2006]. Ursprünglich stammt der Ansatz aus dem anglo-amerikanischen Raum und ist dort unter dem Begriff „Life Cycle Costing“ bekannt [Kralj 1999; Stölting 2006]. Laut dem VDMA-Einheitsblatt 34160 „Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen“ sind die Lebenszykluskosten folgendermaßen definiert [VDMA 2006]:

„Unter Lebenszykluskosten wird im Sinne dieses Blattes die Summe aller zum bestimmungsmäßigen Gebrauch einer geeignet ausgelegten Maschine oder Anlage erforderlichen Aufwendungen von der Anschaffung bis zur Entsorgung verstanden.“

Neben dem Begriff der Lebenszykluskosten (LCC) wird ebenso der Begriff Total Cost of Ownership (TCO) verwendet. Ein Unterschied zwischen den beiden Konzepten ist, dass der TCO-Ansatz im Gegensatz zum LCC-Ansatz auch indirekte Kosten, wie beispielsweise Eingliederung in bestehende Produktionsabläufe, berücksichtigt [Geißdörfer 2008; VDMA 2006; Wild, Herges 2000]. Darüber hinaus werden bei einer TCO-Berechnung jeweils die entstehenden Kosten aus der Sicht des Betreibers errechnet, während eine Lebenszykluskostenberechnung sämtliche Kosten über den Lebenszyklus erfasst [Geißdörfer 2008]. Für weiterführende Informationen hinsichtlich der Unterschiede zwischen TCO- und LCC- Modellen sei in diesem Zusammenhang auf Geißdörfer [2008] verwiesen.

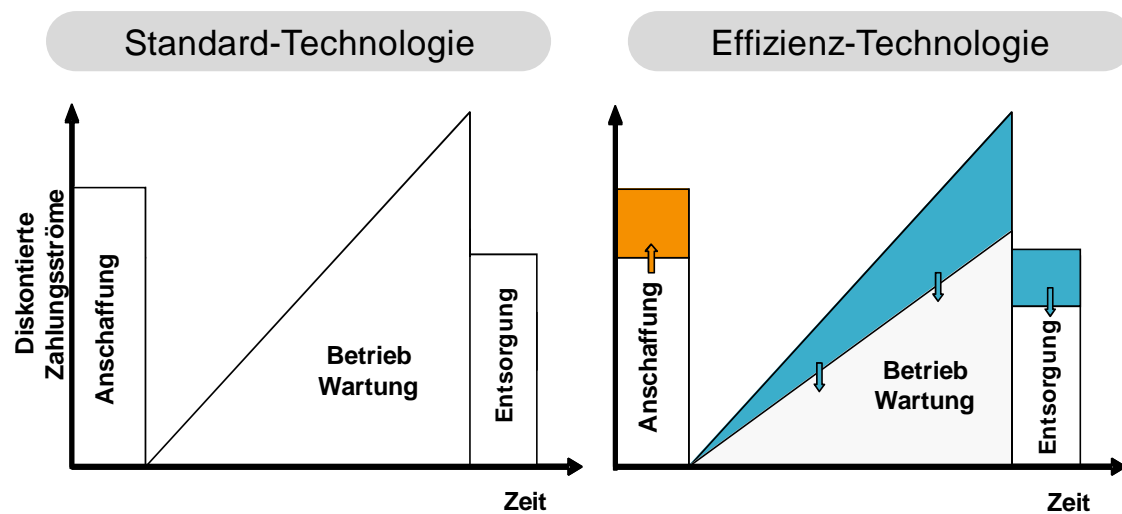


Abbildung 5: Folgekosten können Vorteile der Anschaffungskosten überkompensieren [Taylor 1981]

Das Konzept der Lebenszykluskosten wird im Rahmen des strategieorientierten Kostenmanagements sowie des Produktlebenslaufmanagements eingesetzt [Frank et al. 2007; Geißdörfer 2008]. Es wird unterstützend zur Informationsversorgung für strategische Entscheidungen, wie beispielsweise bei konkurrierenden Investitionsentscheidungen, herangezogen [Woodward 1997]. Durch den Lebenszykluskostenansatz kann beispielsweise analysiert werden, ob durch eine Reduzierung der Folgekosten, wie Betriebs- und Entsorgungskosten, kurzfristige wirtschaftliche Vorteile bei der Anschaffung überkompensieren können (vgl. Abbildung 5). So ist die Investition an sich nur die „Spitze des Eisbergs“ und über den gesamten Lebenszyklus gesehen kann durchaus eine Investitionsalternative mit einer höheren Investitionssumme die wirtschaftlichere Option darstellen [Taylor 1981]. Daraus resultiert die Empfehlung, für Investitionsentscheidungen den Lebenszykluskostenansatz heranzuziehen. Nicht zuletzt bietet er die Möglichkeit, eine ganzheitliche Betrachtung aller Kosten über die gesamte Nutzungsdauer sowohl aus Hersteller- als auch Betreibersicht zu erstellen [Seinschedt et al. 2003].

Wichtig im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Bewertung von energieeffizienten Anlagen und Maschinen ist, dass mittels des Lebenszykluskostenansatzes die Hauptkostentreiber abgeleitet werden können. So kann etwa bestimmt werden, welchen Anteil die Energiekosten und andere Betriebskosten verglichen mit den Anschaffungskosten an den Gesamtkosten ausmachen [Herrmann et al. 2011].



#### 4. Verbreitung des Lebenszykluskostenansatzes im Verarbeitenden Gewerbe

Durch die Verwendung von Lebenszykluskostenrechnungen kann die Entscheidungs- und Kostentransparenz in Unternehmen bedeutend gesteigert werden. Dies wiederum kann die oben beschriebene Unsicherheit und das daraus resultierende Risiko bei Investitionsentscheidungen für energieeffiziente Anlagen und Maschinen maßgeblich verringern. Dies zeigen auch Auswertungen der Erhebung *Modernisierung der Produktion 2009* des Fraunhofer ISI. Betriebe, die ihre Investitionen nach Lebenszykluskostenansätzen bewerten, nutzen weitaus häufiger Energieeffizienztechnologien als Betriebe, die ihre Investitionen lediglich nach Anschaffungskosten bewerten.

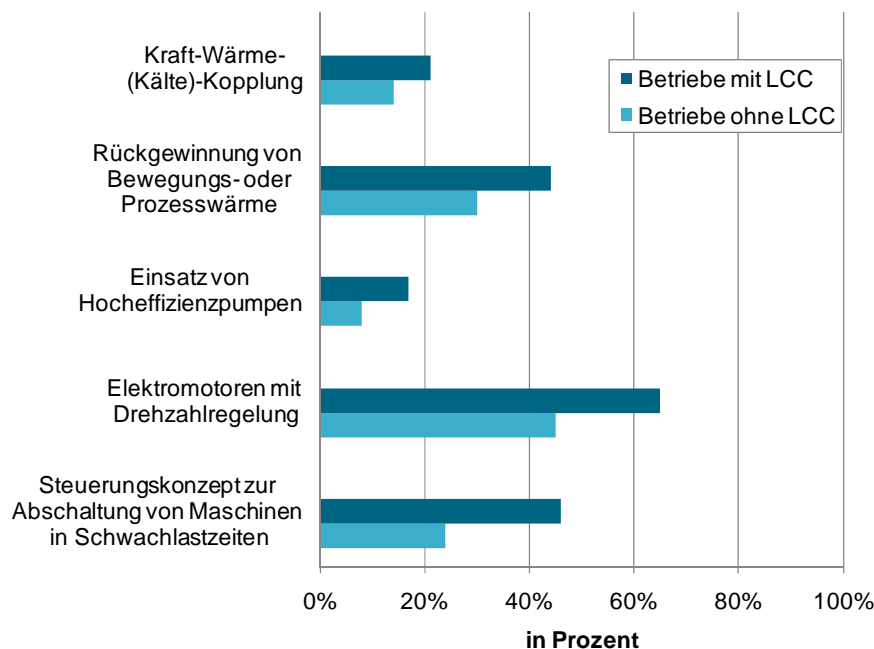


Abbildung 6: Umsetzung von Energiesparmaßnahmen nach Verwendung von TCO-Verfahren<sup>1</sup>, Quelle: Erhebung *Modernisierung der Produktion* ISI, 2009

Der Häufigkeitsfaktor zwischen dem Einsatz von LCC-Konzepten und den in der Erhebung abgefragten Energieeffizienztechnologien liegt bei 1,5 bis 3,5, wobei der Unter-

<sup>1</sup> N (Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung) = 1.153, N (Rückgewinnung v. Prozesswärme) = 1.163, N (Hocheffizienzpumpen) = 1.371, N (E-Motoren) = 1.380, N (Abschaltung in Schwachlastzeiten) = 1.385

schied insbesondere bei dem Einsatz von Hocheffizienzpumpen und von Steuerungskonzepten zur Abschaltung von Maschinen in Schwachlastzeiten sichtbar ist.

Bei einer Analyse der Verbreitung von LCC- bzw. TCO-Ansätzen im Verarbeitenden Gewerbe zeigt sich jedoch, dass viele Investitionsentscheidungen nur auf Basis des Anschaffungspreises getroffen werden [Lindholm, Suomala 2004; Woodward 1997]. Im Mittel werden diese lediglich von 14 Prozent der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes verwendet. Am häufigsten werden diese noch mit über 25 Prozent in Betrieben der Elektronik- und Fahrzeugbauindustrie eingesetzt. Im Holz- und Papiergewerbe wird hingegen der Lebenszykluskostenansatz lediglich von weniger als fünf Prozent der Betriebe eingesetzt [Schröter et al. 2009].

Je mehr Kunden jedoch ihre Kaufentscheidungen auf Basis der Lebenszykluskosten fällen, desto stärker wird von den Anbietern von Maschinen und Anlagen eingefordert werden, entsprechende Informationen über ihre Produkte zu liefern [VDI 2005].

## **5. Modelle und Herausforderungen bei der Berechnung der Lebenszykluskosten energieeffizienter Maschinen und Anlagen**

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten existieren unterschiedliche allgemeine Ansätze, wie beispielsweise das Prognosemodell des VDMA, (Einheitsblatt 34160), die VDI-Norm 2884 und die DIN EN 60300-3-3 [DIN e.V. 2005; Frank et al. 2007; VDI 2005; VDMA 2006]. Diese Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anwendungsmöglichkeiten, wie beispielsweise die betrachteten Lebenszyklusphasen, der Kostenbetrachtung aus Hersteller- oder Betreibersicht, ihrer Übertragbarkeit auf andere Branchen, Firmen oder Produkte, der Kostenaufteilung und der Beachtung finanzieller Aspekte, wie z. B. die Diskontierung [Frank et al. 2007; Herrmann et al. 2011]. Ein vertiefter Vergleich dieser Ansätze findet sich in [Dervisopoulos 2008].

Als Beispiel zur ganzheitlichen Analyse der Lebenszykluskosten aus den unterschiedlichen Perspektiven von Anbieter und Betreiber sei hier das Prognosemodell des VDMA vorgestellt. Dieses basiert, wie auch zahlreiche andere Bewertungskonzepte [Dervisopoulos et al. 2006; Enparantza et al. 2006; VDI 2005], auf den drei Lebenszyklusphasen Entstehung, Betrieb und Verwertung, die sich wiederum aus den entsprechenden Kostenblöcken wie beispielsweise Anschaffung, Erhalt der Funktion und Ent-

sorgung zusammensetzen (vgl. Abbildung 7). Eine Auflistung der Kostenelemente der jeweiligen Phase ist im Einheitsblatt verfügbar [VDMA 2006]. Ein Excel-Berechnungswerkzeug zur Prognose von Lebenszykluskosten kann von der Seite des VDMA kostenlos heruntergeladen werden.<sup>2</sup>

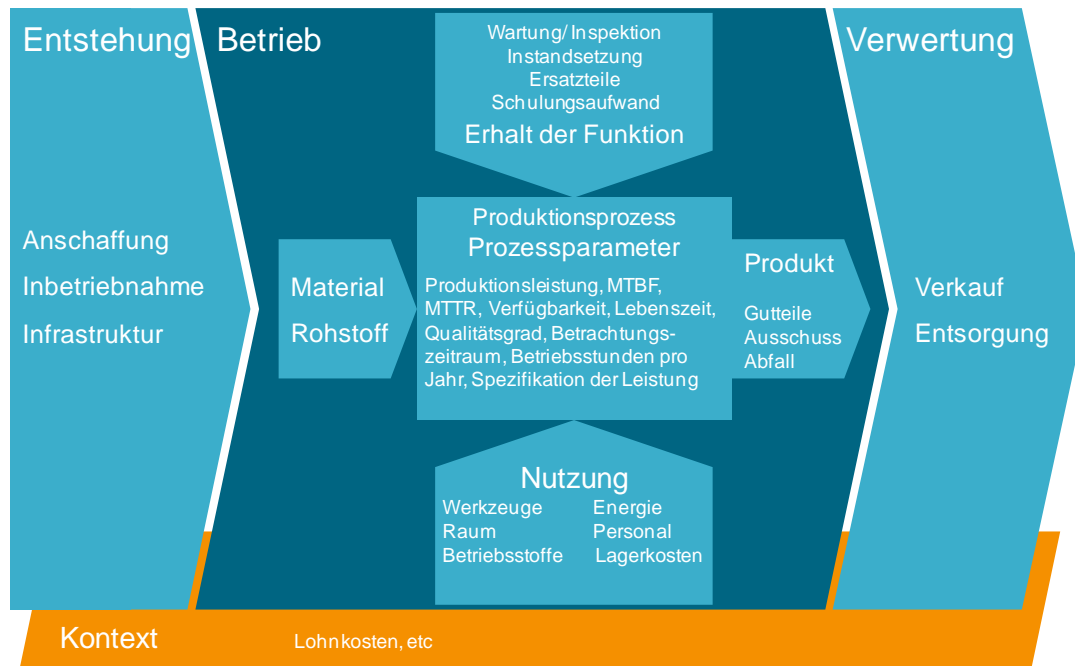


Abbildung 7: Struktur des Prognosemodells für die Lebenszykluskosten im Betrachtungszeitraum [VDMA 2006]

Die Zeitpunkte des Anfalls der verschiedenen Kosten werden bei dem Prognosemodell des VDMA nicht erfasst. Möchte man diese zeitlichen Aspekte in der Berechnung berücksichtigen, bietet sich die Verwendung der Kapitalwertmethode an [Lauven et al. 2010; Woodward 1997].

Im Kontext der Lebenszykluskostenanalyse für energieeffiziente Maschinen und Anlagen gibt es darüber hinaus weitere spezifische Herausforderungen, die aktuell analysiert und bearbeitet werden. Da mittels der Lebenszykluskostenanalyse zukünftige Kosten aus ex-ante Sicht abgeschätzt werden, müssen geeignete Ansätze und Tools

2

[http://www.vdma.org/wps/portal/Home/de/VDMAThemen/Management\\_und\\_Recht/Management/BW\\_Download\\_LCC\\_Berechnungswerkzeug?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/vdma/Home/de/VDMAThemen/Management\\_und\\_Recht/Management/BW\\_Download\\_LCC\\_Berechnungswerkzeug](http://www.vdma.org/wps/portal/Home/de/VDMAThemen/Management_und_Recht/Management/BW_Download_LCC_Berechnungswerkzeug?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/vdma/Home/de/VDMAThemen/Management_und_Recht/Management/BW_Download_LCC_Berechnungswerkzeug)

zur Abschätzung dieser Kosten implementiert werden [Korpi, Ala-Risku 2008]. Um den Mehrwert der Investition in energieeffiziente Anlagen und Maschinen berechnen zu können, ist eine möglichst genaue Abschätzung der benötigten Energieverbräuche über den gesamten Lebenszyklus notwendig [Niggeschmidt et al. 2010]. Dazu werden für die unterschiedlichen Produktionsstadien realistische Nutzungsprofile mit den entsprechenden Energie- und Betriebsstoffverbräuchen benötigt [Kuhrke et al. 2010; Kuhrke, Erdle 2010; Rudolph et al. 2010]. Da die Energie- und Betriebskosten während der Nutzungsphase jedoch nicht statisch, sondern äußerst dynamisch sind, liegen in der Regel keine empirischen Werte vor [Aurich et al. 2009; Herrmann et al. 2011]. Die Kosten, die während der Betriebsphase anfallen, werden insbesondere durch das jeweilige Nutzungsprofil, das Störverhalten des Systems bzw. der Komponenten, dem Zustand der Maschine und weiteren umweltbedingten Faktoren determiniert. Ihre Voraussagbarkeit und Quantifizierung ist daher äußerst schwierig zu realisieren [Herrmann et al. 2011; Kuhrke, Erdle 2010; Rudolph et al. 2010]. Um die notwendigen Parameter zu bestimmen und Transparenz hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Kosten zu erstellen, ist daher eine enge Zusammenarbeit zwischen Betreiber, Maschinen- und Komponentenhersteller sowie eine standardisierte und praktisch umsetzbare Vorgehensweise zur Ermittlung der Verbrauchswerte von Energie und weiteren Betriebsstoffen wie Kühlschmierstoffen, Druckluft sowie Kühlwasser erforderlich [Kuhrke, Erdle 2010]. Beispielsweise können bereits bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen dank Entscheidungsunterstützungssystemen Konstruktionen so angepasst werden, dass die zu erwartenden Lebenszykluskosten minimiert werden [Lauven et al. 2010].

Zur Bewältigung der oben beschriebenen Herausforderungen sind u. a. Lösungsansätze von Herrmann et al. [2011], Denkena et al. [2010] und Aurich et al. [2009] entwickelt worden. Diese unterschiedlichen Bewertungsansätze werden zusammengefasst in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Überblick über die unterschiedlichen Bewertungskonzepte

Ansatz	Beschreibung
[Herrmann et al. 2011]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Simulationsmethodik zur dynamischen Berechnung von Lebenszykluskosten von Systemen/Komponenten aus ex-ante Sicht unter Berücksichtigung der effektiven (Rest-)Lebenszeit</li> <li>➤ Einsatz in Entwicklungs- und Nutzungsphase zur Ableitung von Anpassungen und Änderungen im Produktdesign zur Umsetzung energieeffizienter Maßnahmen bzw. von Wartungsstrategien</li> </ul>
[Denkena et al. 2010]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bewertung zukünftig anfallender Kosten und des erwarteten Nutzens auf Basis von Prozesskettensimulation</li> <li>➤ Quantifizierung von prozesstechnischen, technologischen und organisatorischen Kostenwirkungen</li> </ul>
[Aurich et al. 2009]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Abschätzung der Lebenszykluskosten von neu zu implementierenden Fertigungsprozessen auf Basis vergleichbarer, bereits implementierter Fertigungsprozesse</li> <li>➤ Integrierte Betrachtung aus Hersteller- und Anwendersicht</li> </ul>

Herrmann et al. [2011] entwickeln eine Simulationsmethodik, mit der die Lebenszykluskosten dynamisch aus ex-ante Sicht berechnet sowie die tatsächliche (Rest-)Lebenszeit genutzter Komponenten bestimmt werden können. Die Vorgehensweise dieses integrierten Ansatzes, bei dem ausgehend von der Methodik zur Bestimmung der tatsächlichen (Rest-)Lebenszeit der Komponenten die dynamische Lebenszykluskosten-simulation durchgeführt wird, ist in Abbildung 8 dargestellt. Dadurch können kosten- und energieeffiziente Maßnahmen bzw. Lösungen, die während der Nutzungsphase umgesetzt werden sollen, bereits im Voraus realistisch abgeschätzt werden bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Systemveränderungen. Diese werden auf Komponentenbasis abgebildet und betreffen beispielsweise die Auswahl von Instandhaltungsstra-

tegien. Aus technischer Perspektive können somit im Entwicklungs- und Nutzungsprozess unterschiedliche Produktalternativen bzw. Instandhaltungsstrategien miteinander verglichen werden. Dabei erscheint die Ermittlung der Lebenszykluskosten in der Entwicklungsphase sinnvoll, da zu diesem Zeitpunkt bereits 70 bis 90 Prozent der zukünftigen Lebenszykluskosten durch die Maschinen- und Anlagengestaltung festgelegt werden [Bescherer 2005; Korpi, Ala-Risku 2008; Lindholm, Suomala 2005]. Allerdings ist die Ermittlung kosten- und energieeffizienter Lösungen umso schwieriger, je komplexer das System und die Charakteristika der Komponenten sind [Herrmann et al. 2011].

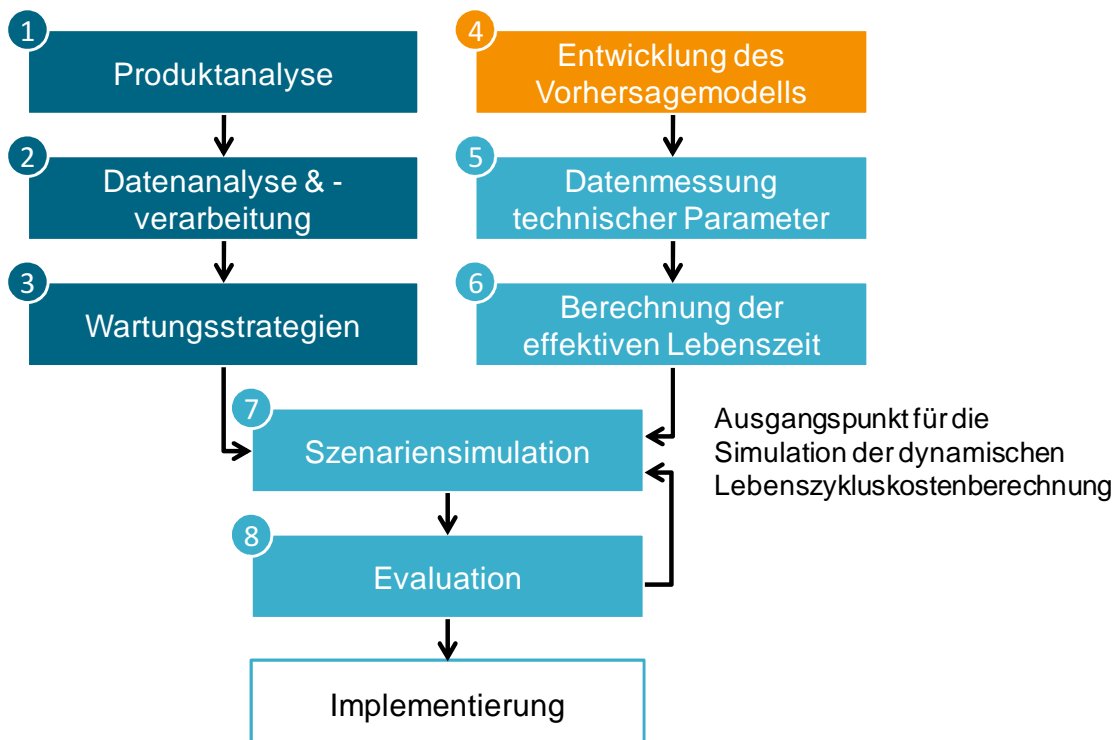


Abbildung 8: Prozessschritte des integrierten Ansatzes von Herrmann et al. [2011]

Denkena et al. [2010] fokussieren in ihrer Arbeit die Quantifizierung prozesstechnischer (z. B. Verfügbarkeit, Bearbeitungs- oder Rüstzeiten), technologischer (z. B. verschiedene Schichtpläne) und organisationsbezogener (z. B. variierende Materialdispositionen) Kostenwirkungen für den Investitionsentscheidungsprozess, denn oftmals werden diese bei Investitionen nur qualitativ beachtet. Die Zusammenhänge zwischen den prozesstechnischen, technologischen und organisationsbezogenen Elementen einer Investitionsentscheidung sind jedoch elementar für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im

Bereich der Fertigung. Denkena et al. [2010] passen daher ihre Bewertungsmethodik um diese Elemente an und wenden diese in Kombination mit einer Prozesskettensimulation an (vgl. Abbildung 9). Somit können beispielsweise komplexe Systeme und Wechselwirkungen realitätsnah untereinander abgebildet und integriert analysiert werden. Ferner werden in das Konzept von Denkena et al. [2010] neben der Kostenbetrachtung auch die Nutzenbewertung integriert, es wird deshalb auch als „Total Cost and Benefit of Ownership“ (TCBO) bezeichnet. Das Konzept kann für unterschiedliche Maschinenkonzepte zur realistischen Bewertung verschiedener Technologien eingesetzt werden.



Abbildung 9: TCBO-Bewertung mittels Prozesskettensimulation

Aurich et al. [2009] beschäftigen sich mit der Lebenszyklusanalyse von neu zu implementierenden Fertigungsprozessen und der Entwicklung einer systematischen Methode, mittels derer die jeweiligen Lebenszykluskosten abgeschätzt werden können. Bei diesem Ansatz werden Hersteller- als auch Anwendersicht integriert betrachtet. Dieses Vorgehen erfordert jedoch ein grundlegendes Verständnis über die relevanten Teilprozesse, die Identifikation möglicher sekundärer Kosten, welche beispielsweise durch gewählte Instandhaltungsstrategien entstehen, sowie die Wahrnehmung extern einflussnehmender Faktoren wie Weiterentwicklungen der Technologie. Mittels objektorientierter Modellierung werden mit diesem Ansatz die Eigenschaften der physikalischen Komponenten und ihre Wechselwirkungen untereinander unter Beachtung von Rah-

menbedingungen abgebildet. Dazu werden vergleichbare, bereits implementierte Fertigungsprozesse herangezogen, auf deren Basis die Lebenszykluskosten abgeschätzt werden können. Abbildung 10 stellt die allgemeine Vorgehensweise zur Abschätzung der Lebenszykluskosten von Fertigungsprozessen dar. Zur Ableitung der Fertigungsprozesse, die über ähnliche Objekte verfügen, bietet sich der Einsatz der DIN 8580 an, mit der eine methodische Suche nach ähnlichen Fertigungsprozessen vorgenommen werden kann. Als Herausforderung stellt sich dabei jedoch die Identifizierung vergleichbarer Komponenten aus bereits bestehenden Fertigungsprozessen dar, da diese insbesondere durch wechselnde Betriebsbedingungen und komplexe Wechselwirkungen untereinander beeinflusst werden [Aurich et al. 2009].

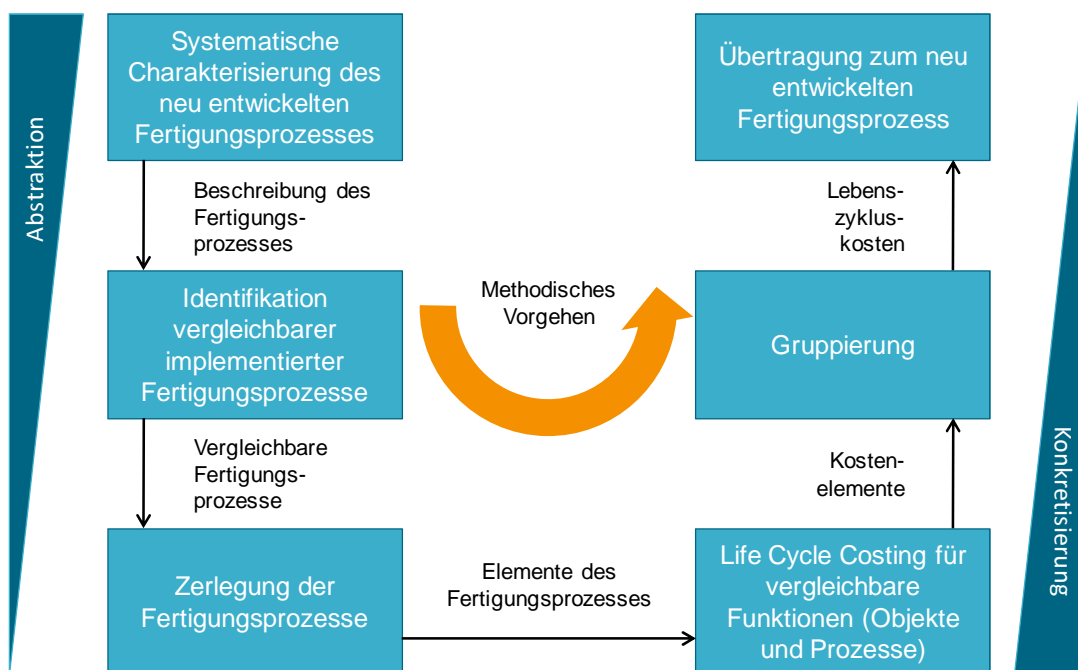


Abbildung 10: Abstraktion von Fertigungsprozessen [Aurich et al. 2009]

Mit Hilfe der Lebenszykluskostenanalyse lassen sich ebenfalls LCC-Verträge zwischen Anbietern und Betreibern ausgestalten, mit denen von Herstellerseite aus Garantien zu definierten Kostenelementen, wie beispielsweise Wartung, Instandhaltung und Reparatur sowie in jüngster Zeit auch zu Energieverbräuchen, abgegeben werden [Fleischer, Wawerla 2007; Herrmann et al. 2011; Lauven et al. 2010]. Durch das Angebot von LCC-Verträgen möchten sich Maschinenhersteller von Wettbewerbern abheben und dadurch den erhöhten Aufwand der Angebotserstellung kompensieren. Für den Nutzer dieser LCC-Verträge ergibt sich so eine bessere Planbarkeit der entstehenden Kosten



und damit eine Reduzierung von Risiken [Lauven et al. 2010]. Die Risiken gehen dabei auf den Anbieter des LCC-Vertrags über. Die Herausforderung besteht für den Anbieter darin, dass die tatsächlichen Lebenszykluskosten signifikant von den schwer vorhersagbaren und stochastischen Größen wie Zuverlässigkeit abweichen und durch unterschiedliche Belastungs- und Nutzungsprofile beeinflusst werden können. Durch den Einsatz geeigneter Tools, wie von Herrmann et al. [2011] sowie Fleischer und Wawerla [2007] sollen diese Herausforderungen gelöst und die Komplexität in der Angebotserstellung werden können. Fleischer und Wawerla [2007] haben in diesem Zusammenhang geeignete Methoden zur Abschätzung der oben genannten Kostenelemente entwickelt, damit die Angebotsphase und der Verhandlungsprozess transparenter gestaltet werden können. Sie wählen zur Berechnung der Zuverlässigkeit zunächst die Weibull-Analyse aus. Um anschließend die Lebenszykluskosten zu bestimmen, wird die Monte-Carlo-Simulation eingesetzt [Fleischer, Wawerla 2007]. Herrmann et al. [2011] integrieren mittels der dynamischen Simulation der Lebenszykluskosten ebenfalls den Unsicherheitsfaktor und ermöglichen somit die Ausgestaltung von LCC-Verträgen. Zur Ermittlung der Betriebsbedingungen für die Vertragsausgestaltung sind jedoch auch konkrete Nutzungsprofile der Maschinen von Kundenseite notwendig, um alle benötigten Parameter adäquat prognostizieren zu können [Lauven et al. 2010].

## 6. Fazit

Im Kontext von energieeffizienten Anlagen und Maschinen zielt die Verwendung des Lebenszykluskostenansatzes darauf ab, Transparenz in die Kostenstruktur der Anlage bzw. Maschine über den gesamten Gebrauchszeitraum von der Anschaffung bis zur Entsorgung zu bringen. Damit sollen verschiedene Zielstellungen verfolgt werden. Zum einen sollen die unterschiedlichen Kostenanteile transparent gemacht werden, so dass Investitionsentscheidungen ganzheitlich und nicht nur auf Basis der Anschaffungskosten getroffen werden. Dadurch kann die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit von energieeffizienten Anlagen und Maschinen hervorgehoben werden, die meist über einen höheren Anschaffungspreis verfügen. Zum anderen können mit dem Ansatz auch wertvolle Ansatzpunkte für Energieeffizienzmaßnahmen aufgezeigt werden. Außerdem können mittels des Lebenszykluskostenansatzes Maschinen, Anlagen und Fertigungsprozesse bereits so ausgelegt werden, dass über den Lebenszyklus gesehen die kostengünstigste Alternative realisiert werden kann.

Mit den in dieser Studie beschriebenen Ansätzen und Tools zur Berechnung der Lebenszykluskosten aus ex-ante Sicht können sowohl Produkte als auch Technologien und Prozesse bewertet und verglichen werden. Allerdings scheinen diese bisher lediglich prototypisch entwickelt und exemplarisch im Kontext von Forschungsprojekten angewendet worden zu sein. Auch der beschriebene geringe Anteil an Betrieben im Verarbeitenden Gewerbe, die den Lebenszykluskostenansatz bereits zur Bewertung ihrer Investitionen verwenden, verdeutlicht, dass vor allem Konzepte benötigt werden, die zu einer stärkeren Verbreitung und Anwendung dieses Bewertungskonzeptes führen. Nur durch eine adäquate Berücksichtigung der Energiekosten in den Beschaffungsentscheidungen der Kunden werden energieeffiziente Maschinen und Anlagen ihren Absatz finden.

Die Effizienzfabrik ([www.effizienzfabrik.de](http://www.effizienzfabrik.de)) bietet mit ihren Veranstaltungen zu dieser Thematik eine Plattform zum Austausch aller Beteiligten, wie Anwendern, Anlagen- und Komponentenherstellern.

## 7. Danksagung

Diese Kurzstudie entstand im Rahmen des Begleitforschungsprojekts Effizienzfabrik (Innovationsplattform Ressourceneffizienz in der Produktion, FKZ 02PO2551), welches mit Mitteln des BMBF innerhalb des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ zum Schwerpunkt „Ressourceneffizienz in der Produktion“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut wird.

## 8. Anhang

Die folgende Auswahl an Bewertungstools für Lebenszykluskosten wird von unterschiedlichen Institutionen angeboten und können unterstützend zu einer einheitlichen Bewertung der Lebenszykluskosten herangezogen werden:

- VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau): Excel-Berechnungswerkzeug zur Prognose von Lebenszykluskosten auf Basis des VDMA-Einheitsblatts 34160

[http://www.vdma.org/wps/portal/Home/de/VDMAThemen/Management\\_und\\_Recht/Management/BW\\_Download\\_LCC\\_Berechnungswerkzeug?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/vdma/Home/de/VDMAThemen/Management\\_und\\_Recht/Management/BW\\_Download\\_LCC\\_Berechnungswerkzeug](http://www.vdma.org/wps/portal/Home/de/VDMAThemen/Management_und_Recht/Management/BW_Download_LCC_Berechnungswerkzeug?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/vdma/Home/de/VDMAThemen/Management_und_Recht/Management/BW_Download_LCC_Berechnungswerkzeug)

- dena (Deutsche Energie-Agentur): Lebenszykluskostenrechner für Pumpensysteme  
[http://www.industrie-energieeffizienz.de/tools/lebenszykluskostenrechner.html?no\\_cache=1](http://www.industrie-energieeffizienz.de/tools/lebenszykluskostenrechner.html?no_cache=1)
- Druckluft effizient: Lebenszykluskostenrechner für Druckluftanlagen  
<http://www.druckluft-effizient.de/lcc.html>
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Softwaretool inklusive eintägigem Seminar für die Lebenszykluskostenbewertung von Robotern bzw. roboterbasierten Dienstleistungen [Weißfloch et al. 2010]  
<http://isi.fraunhofer.de/isi-de/service/presseinfos/2009/pri09-21.php>
- ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.): Lifecycle Cost Evaluation, Berechnungsinstrument für Lebenszykluskosten bei Investitionsentscheidungen  
<https://www.zvei.org/index.php?id=5879>

## 9. Literatur

- Abele, Eberhard (2010): Symposium "Energieeffiziente Werkzeugmaschinen": Begrüßung und Einstimmung, Düsseldorf.
- Abele, Eberhard; Eisele, Christian (2010): Energieeffiziente Produktionsmaschinen durch Simulation in der Produktentwicklung. In: ZWF, 105 (11), S. 980-983.
- AG Energiebilanzen e.V. (2011): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2010, Berlin, Köln: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- Aurich, Jan C.; Lauer, Christian; Faltin, Markus; Schweitzer, Eric (2009): Abschätzung der Lebenszykluskosten neu entwickelter Fertigungsprozesse. In: ZWF, 104 (9), S. 720-724.
- Bescherer, Frank (2005): Established Life Cycle Concepts in the Business Environment - Introduction and Terminology, 2005/1, Laboratory of Industrial Management report series, Helsinki University of Technology.
- dena - Deutsche Energie-Agentur (2011): Lebenszykluskosten bei Pumpen und Pumpensystemen. Online: <http://www.industrie-energieeffizienz.de/technologien/pumpensysteme/lebenszykluskosten.html#c28162> (Stand: 09.08.2011).
- Denkena, Berend; Schürmeyer, Jan; Eikötter, Mark (2010): Berücksichtigung temporärer Effekte von Lebenszykluskosten in der Technologiebewertung: Integration

- der Kapitalwertmethode in Total Cost and Benefits of Ownership. In: ZWF, 105 (11), S. 959-964.
- Dervisopoulos, Marina (2008): CO\$TRA - Life Cycle Costs Transparent: Abschlussbericht - Kurzfassung, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW, TU Darmstadt.
- Dervisopoulos, Marina; Schatka, Anne; Torney, Meike; Warwela, Marc (2006): Life Cycle Costing im Maschinen- und Anlagenbau. In: Industrie Management, 22 (6), S. 55-58.
- DIN e.V. (2005): Zuverlässigkeitsmanagement - Teil 3-3: Anwendungsleitfaden - Lebenszykluskosten (IEC 60300-3-3:2004); Deutsche Fassung EN 60300-3-3:2004.
- Drillisch, J. (1996): Der Einfluss wettbewerblicher Strukturen in der US-Elektrizitätswirtschaft auf Demand-Side Management. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft (1), S. 37-52.
- Enparantza, Rafael; Revilla, Oscar; Azkarate, Ander; Zendoia, Jose (2006): A Life Cycle Cost Calculation and Management System for Machine Tools, Leuven, Belgium: LCE2006 - 13 CIRP International Conference on Life Cycle Engineering.
- Fleischer, Jürgen; Wawerla, Marc (2007): Abschlussbericht ViLMA: Verfügbarkeit im Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen, Karlsruhe: wbk Institut für Produktionstechnik der Universität Karlsruhe (TH).
- Frank, Thorsten; Niemann, Jörg; Westkämper, Engelbert (2007): Ein Tool zur lebenslangen Kostenüberwachung. Vom Life Cycle Costing zum Life Cycle Controlling. In: wt Werkstatttechnik, 97 (7/8), S. 555-559.
- Geißdörfer, Klaus (2008): Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC) - Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA, Gleich, R.; Wald, A. (Hrsg.), Controlling und Management, Münster: LIT Verlag.
- Herrmann, Christoph; Kara, Sami; Thiede, S. (2011): Dynamic life cycle costing based on lifetime prediction. In: International Journal of Sustainable Engineering, 2011, S. 1-12.
- Irrek, Wolfgang (2004): Controlling der Energiedienstleistungsunternehmen, Lohmar: Josef Eul Verlag GmbH.
- Irrek, Wolfgang; Thomas, Stefan (2010): Markttransformation und politische Instrumente In: Pehnt, M. (Hrsg.): Energieeffizienz - Ein Lehr- und Handbuch. Heidelberg: Springer Verlag, S. 35-86.
- Irrek, Wolfgang; Thomas, Stefan (2011): Markttransformation und politische Instrumente In: Pehnt, M. (Hrsg.): Energieeffizienz - Ein Lehr- und Handbuch. Heidelberg: Springer Verlag, S. 35-86.

- Korpi, Eric; Ala-Risku, Timo (2008): Life cycle costing: a review of published case studies. In: Managerial Auditing Journal, 23 (3), S. 240-261.
- Kralj, Damir (1999): Lebenszyklus, Lebenszykluskosten und Lebenszykluskostenrechnung. In: Controlling (4/5), S. 227-228.
- Kuhrke, Benjamin; Erdle, Frank (2010): Energieeffizienz als Investitionskriterium. In: Werkstatt + Betrieb, 2010 (1-2), S. 30-33.
- Kuhrke, Benjamin; Schrems, Sebastian; Eisele, Christian; Abele, Eberhard (2010): Methodology to assess the energy consumption of cutting machines, Conference Proceedings: CIRP - the International Academy for Production Engineering.
- Lauven, L.; Wiedenmann, S.; Geldermann, J. (2010): Lebenszykluskosten als Entscheidungshilfe beim Erwerb von Werkzeugmaschinen, Göttingen.
- Lindholm, Anni; Suomala, Petri (2004): The Possibilities of Life Cycle Costing in Outsourcing Decision Making, Proceedings of e-Business Research Forum eBRF, Tampere, Finland.
- Lindholm, Anni; Suomala, Petri (2005): Learning by Costing: Sharpening Cost Image through Life Cycle Costing?, 7th Manufacturing Accounting Research Conference, Tampere, Finland.
- Niggeschmidt, S.; Helu, M.; Diaz, N.; Behmann, B.; Lanza, G.; Dornfeld, D. (2010): Integrating Green and Sustainable Aspects into Life Cycle Performance Evaluation, Green Manufacturing and Sustainable Manufacturing Partnership Nr. Laboratory for Manufacturing and Sustainability UC Berkeley.
- Nilsson, H.; Wene, C. O. (2002): Best Practices in Technology Deployment Policies, ACEEE 2002 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Washington, DC.
- Rothenbücher, Stefan; Kuhrke, Benjamin (2010): Energiebündel auf dem Prüfstand - Trendbericht: Energiekosten bei spanenden Werkzeugmaschinen. In: Werkstatt + Betrieb, 2010 (09), S. 130-137.
- Rudolph, Mathias; Abele, Eberhard; Eisele, Christian; Rummel, Wolfgang (2010): Analyse von Leistungsmessungen - Ein Beitrag zur Untersuchung der Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen. In: ZWF, 105 (10), S. 876-882.
- Schischke, Karsten; Hohwieler, Eckhard; Feitscher, Roberto; König, Jens; Kreuzschner, Sebastian; Wilpert, Paul; Nissen, Nils F. (2011): Energie-Using Product Group Analysis. Lot 5: Machine tools and related machinery. Task 2 Report, Sustainable Industrial Policy - Building on the Ecodesign Directive - Energy-using Product Group Analysis/2, Berlin: Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration, IZM.

- Schmid, Christiane (2004): Energieeffizienz in Unternehmen - Eine wissenschaftliche Analyse von Einflussfaktoren und Instrumenten, Dyllick, T.; Filippini, M.; Spreng, D. (Hrsg.), Zürich: cdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Schröter, Marcus; Weißfloch, Ute; Buschak, Daniela (2009): Energieeffizienz in der Produktion - Wunsch oder Wirklichkeit? Energieeinsparpotenziale und Verbreitungsgrad energieeffizienter Techniken, Modernisierung der Produktion, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Seewöster, Tim (2006): Controlling von Life Cycle Cost-Verträgen produzierender Dienstleister, Becker, J.; Grob, H.L.; Klein, S.; Kuchen, H.; Müller-Funk, U.; Vossen, G. (Hrsg.), Advances in Information Systems and Management Science, Berlin: Logos Verlag.
- Seinschedt, Frank; Rainfurth, Claudia; Lay, Gunter (2003): Life Cycle Costing als Instrument zur Preisfindung für produktbegleitende Dienstleistungen In: Kinkel, S.; Jung-Erceg, P.; Lay, G. (Hrsg.): Controlling produktbegleitender Dienstleistungen: Methoden und Praxisbeispiele zur Kosten- und Erlössteuerrechnung. Heidelberg: Physica-Verlag, S. 91-100.
- Sorrell, Steve; O'Malley, Eoin; Schleich, Joachim; Scott, Sue (2004): The economics of energy efficiency. Barriers to cost-effective investment, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited.
- Sorrell, Steve; Schleich, Joachim; Scott, Sue; O'Malley, Eoin; Trace, Fergal; Boede, Ulla; Ostertag, Katrin; Radgen, Peter (2000): Reducing Barriers to Energy Efficiency in Public and Private Organisations, Brighton; Karlsruhe; Dublin: SPRU/University of Sussex, Fraunhofer ISI, ESRI.
- Stölting, Wiebke (2006): Lebenszyklusorientierte strategische Planung von Remanufacturing-Systemen für elektr(on)ische Investitionsgüter, Universität Braunschweig.
- Taylor, W. B. (1981): The use of life cycle costing in acquiring physical assets. In: Long Range Planning, 14 (6), S. 32-43.
- VDI (2005): VDI-Richtlinie 2884: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC), VDI-Richtlinien.
- VDI Nachrichten (2010): Werkzeugmaschinen bieten noch viel Sparpotenzial. In: VDI Nachrichten, 2010 (30.07.2010), Nr. 30/31, S. 18.
- VDMA (2006): VDMA-Einheitsblatt 34160 - Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen.
- Weißfloch, Ute; Lerch, Christian; Kinkel, Steffen (2010): Produktionskostensenkung durch LCC-Konzepte. In: ZWF, 105 (9), S. 791-795.
- Wild, M.; Herges, S. (2000): Total Cost of Ownership (TCO) - Ein Überblick, Schwickert, A.C. (Hrsg.), Arbeitspapiere WI Nr. Mainz: Lehrstuhl für Allg. BWL und Wirtschaftsinformatik.

Woodward, David G. (1997): Life Cycle costing - theory, information acquisition and application. In: International Journal of Project Management, 15 (6), S. 335-344.

Wouters, R. (2010): Optimal geregelt: Der Antrieb als Stellschraube. In: Produktion, 2010, Nr. 50-51, S. 18.