



Kurzstudie

Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Karlsruhe, 15. September 2011

Simon Hirzel, Benjamin Sonntag, Dr. Clemens Rohde

Breslauer Straße 48

76139 Karlsruhe

simon.hirzel@isi.fraunhofer.de

Tel.: 0721 6809 405



Inhalte

1	Über die Kurzstudie	3
2	Einführung	4
2.1	Energiepolitischer Kontext	4
2.2	Energieverbrauch und Energiekosten der Produktion	5
3	Energiemanagement als Lösungsansatz	6
3.1	Hemmnisse für den Einsatz von Effizienzmaßnahmen	6
3.2	Betrachtungsgegenstand und Instrumentarium	7
3.3	Motivation und Nutzen des Energiemanagements	9
3.4	Erfolgsfaktoren des Energiemanagements	10
4	Entwicklungsrichtungen des Energiemanagements	11
4.1	Paradigmenwechsel zum integrierten, strategischen Energiemanagement	12
4.2	Verstetigung der Nutzung von Energiemanagementsystemen	13
4.3	Erschließung des Energiemanagements für KMU	15
4.4	Etablierung von Energieeffizienznetzwerken	16
4.5	Weiterentwicklung von Energiekennzahlen, Kennzahlensystemen und Benchmarks	17
4.6	Fortschrittliche Sensor-, Kommunikations- und Analysesysteme	18
4.7	Energiesensible Simulations- und Optimierungsansätze	19
5	Fazit	20
6	Anhang	22
7	Literatur	25

1 Über die Kurzstudie

Steigende Energie- und Rohstoffpreise, ein verstärktes gesellschaftliches Interesse an Energiethemen und neue Kundenanforderungen führen dazu, dass der verantwortungsvolle Umgang mit Energie als Ressource immer wichtiger wird. Das Energiemanagement bietet die Möglichkeit, Energieflüsse zu erfassen, zu bewerten, und dient als Grundlage, um Maßnahmen zur besseren Ressourcennutzung abzuleiten und umzusetzen. Während das Energiemanagement auf unterschiedlichen Ebenen¹ diskutiert werden kann, befasst sich diese Kurzstudie insbesondere mit dem betrieblichen Energiemanagement in der Industrie. Trotz guter Erfolge in der Praxis und der hohen Relevanz, die dem Thema aus politischer Sicht beigemessen wird, gilt das industrielle Energiemanagement aus Sicht der Forschung als in weiten Teilen nur ansatzweise erschlossen (vgl. [Hrustic et al. 2011]). Dies gilt insbesondere, wenn es über die rein technische Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen hinaus verstanden wird (vgl. [Thollander et al. 2010b, Posch 2011]).

Ziel der vorliegenden Kurzstudie ist es, einen Überblick über aktuelle Themen und Entwicklungen im Bereich des betrieblichen Energiemanagements in der Industrie zu geben und Eckpunkte für künftige Weiterentwicklungen des Energiemanagements darzustellen.

Zunächst wird einordnend der energiepolitische und energiewirtschaftliche Rahmen für das Energiemanagement beleuchtet (Abschnitt 2). Danach folgt eine Darstellung des Energiemanagements als Lösungsansatz und eine Diskussion von Erfahrungen und Erfolgsfaktoren des betrieblichen Energiemanagements (Abschnitt 3). Davon ausgehend werden aktuelle Entwicklung des Energiemanagements und Themen für künftige Weiterentwicklungen dargestellt (Abschnitt 4), bevor die Studie in einem abschließenden Fazit (Abschnitt 5) endet. Für eine vertiefte Betrachtung der unterschiedlichen Aspekte des Energiemanagements sind neben der zitierten Literatur im Anhang einige relevante Leitfäden und weitere Informationsquellen zusammengestellt.

¹ [Kals 2010] schlägt eine Strukturierung in globales, volkswirtschaftliches, sektorales bzw. branchenbezogenes und betriebliches Energiemanagement vor.

2 Einführung

2.1 Energiepolitischer Kontext

Das Thema Energie gilt als eine der zentralen europäischen Herausforderungen und spiegelt sich in Form der "20-20-20-Ziele"² als eines von fünf Kernzielen der Europäischen Union wider (vgl. [EC 2010a, EC 2010b]). Über diese mittelfristigen Ziele hinaus wird eine langfristige Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 80 bis 95 Prozent zum Jahr 2050 diskutiert (vgl. [EC 2010a]). Vor dem Hintergrund, dass derzeit rund 80 Prozent der Treibhausgasemissionen der EU auf energiebedingte Emissionen zurückzuführen sind (vgl. [EC 2010a]), deuten diese Ziele den energieangebots- und nachfrageseitigen Umgestaltungsbedarf für das künftige Energiesystem an. Einschlägige Maßnahmen stellen beispielsweise die Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2009/125/EG), die Emissionshandelsrichtlinie (Richtlinien 2003/87/EG, 2009/29/EG) und die Energiedienstleistungsrichtlinie (Richtlinie 2006/32/EG) dar.

Insbesondere der Steigerung der nachfrageseitigen Energieeffizienz wird für die Ausgestaltung des künftigen Energiesystems eine hohe Bedeutung beigemessen (vgl. [OECD/IEA 2009, OECD/IEA 2010]). Sie wird als wichtiger „Maßstab für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und auch ihrer Innovationskraft“ ([Bundesregierung 2010, S. 12]) gesehen. Energiemanagementsysteme gelten als geeignetes Instrument, um Unternehmen anzuregen, Energieeffizienzpotentiale zu identifizieren und zu erschließen (vgl. [EC 2011a]). Auf politischer Ebene wird daher der Einführung von Energiemanagementsystemen in der Industrie eine hohe Priorität eingeräumt (vgl. [EC 2010a]). Dabei soll das Thema Energiemanagement auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) weitergehend erschlossen werden (vgl. [EC 2010a, EC 2011b]).

Auf bundespolitischer Ebene wurde das Ziel einer verstärkten Verbreitung von Energiemanagementsystemen bereits 2007 in den Eckpunkten des integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung thematisiert (vgl. [Bundesregierung 2007a,

² Die Ziele umfassen die Steigerung der Energieeffizienz um 20 Prozent, die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energie am Gesamtenergieverbrauch um 20 Prozent und die Verringerung der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 20 Prozent (bzw. bei internationalen Anstrengungen bis 30 Prozent) bis 2020.

Bundesregierung 2007b]) und wird im Energiekonzept der Bundesregierung aufgegriffen (vgl. [Bundesregierung 2010]): Derzeit werden der deutschen Wirtschaft Steuervergünstigungen bei der Öko-Steuer eingeräumt. Diese Vergünstigungen dürfen nach 2012 nur noch gewährt werden, wenn Betriebe eine Gegenleistung für diese Steuervergünstigungen erbringen. In ihrem Energiekonzept sieht die Bundesregierung daher vor, ab 2013 den Spitzenausgleich³ im Rahmen der Energie- und Stromsteuer nur zu gewähren, wenn ein Beitrag zu Energieeinsparungen geleistet wird. Dieser Beitrag kann in Form eines zertifizierten Energiemanagementsystems oder durch gleichwertige Maßnahmen erfolgen. Entsprechende zertifizierbare Energiemanagementsysteme liegen durch die Arbeiten des CEN (Europäische Komitee für Normung) und der ISO (Internationale Organisation für Normung) mit der Veröffentlichung der EN 16001 und der ISO 50001 vor (vgl. auch Abschnitt 4).

2.2 Energieverbrauch und Energiekosten der Produktion

Während sich seit 1990 in Deutschland die gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität⁴ im Schnitt jährlich um 1,7 Prozent verbessert hat (vgl. [Statistisches Bundesamt 2011]) bleibt Deutschland stark von Energieimporten abhängig, insbesondere bei den Primärenergieträgern Öl und Gas (vgl. [BGR 2009]). Auf Nachfrageseite spielt neben den privaten Haushalten, dem Dienstleistungs- und dem Transportsektor die Industrie eine wichtige Rolle: Mit Blick auf den Energieverbrauch entfielen in Deutschland in 2008 auf den Bergbau und das verarbeitende Gewerbe rund 44 Prozent des nationalen Stromverbrauchs (233 von 524 TWh/Jahr) und rund 24 Prozent des Verbrauchs an sonstigen Energieträgern (1,7 von 7,2 PJ/Jahr) (vgl. [Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2011], Abbildung 1).

Insgesamt belaufen sich die daraus resultierenden Energiekosten für die Industrie (Bergbau und verarbeitendes Gewerbe) auf insgesamt rund 38 Milliarden Euro⁵ im Jahr 2008. Mit Blick auf die historische Dynamik der Energieträgerpreise sind die

³ „Über die allgemeine Steuerbegünstigung hinaus haben ausschließlich Unternehmen des Produzierenden Gewerbes Anspruch auf den so genannten Spitzenausgleich (Ausgleich des Saldo zwischen Entlastung durch Senkung der Rentenversicherungsbeiträge und Belastung durch Ökosteuern).“ ([Bundesregierung 2007a, S. 22]).

⁴ Energieproduktivität = Bruttoinlandsprodukt/Primärenergieverbrauch im Inland.

⁵ Eigene Berechnung auf Basis von [Statistisches Bundesamt 2010].

Strompreise ohne angewandte Steuern für einen mittleren Industrieabnehmer jährlich im Schnitt um rund drei Prozent in den vergangenen zehn Jahren auf durchschnittlich rund 9,2 Eurocent je Kilowattstunde gestiegen (vgl. [Eurostat 2011b]). Bei den industriellen Gaspreisen ist bei deutlich höherer Volatilität eine durchschnittliche jährliche Steigerungsrate von rund 6,5 Prozent zwischen 2000 und 2010 (auf im Schnitt 8,98 Euro/GJ, vgl. [Eurostat 2011a]) zu beobachten.

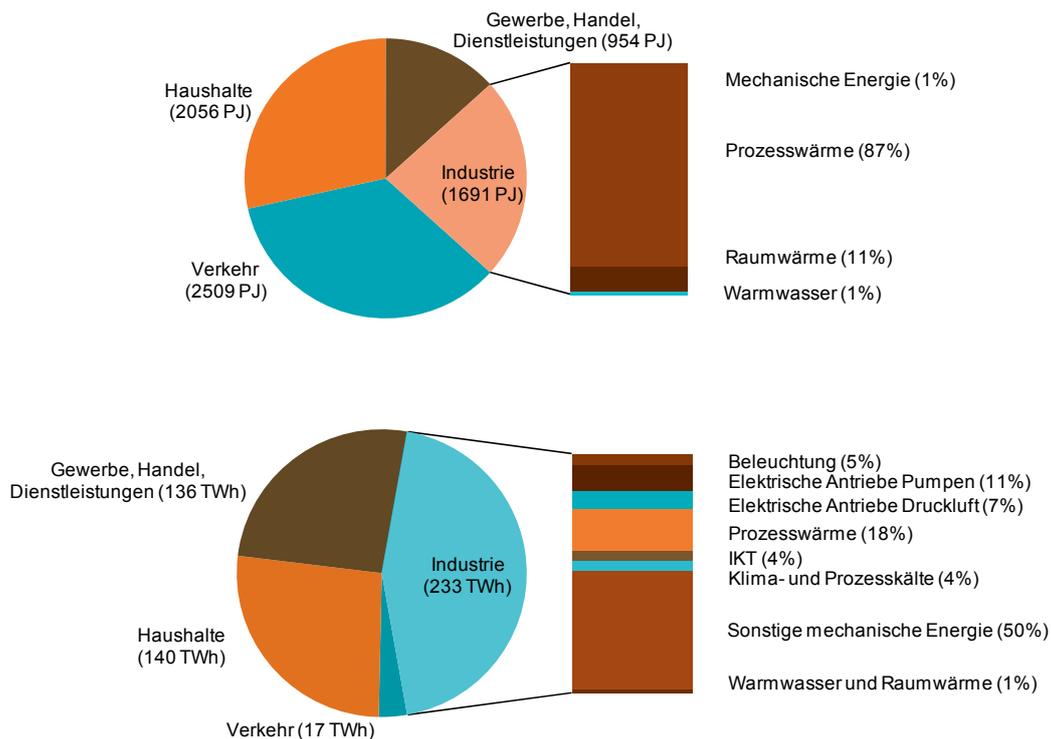


Abbildung 1: Energieverbrauch nach Strom (unten) und sonstigen Energieträgern (oben) in Deutschland nach Sektoren und industriellen Anwendungszwecken in 2008 (eigene Darstellung basierend auf [Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2011, Schломann et al. 2011]).

3 Energiemanagement als Lösungsansatz

3.1 Hemmnisse für den Einsatz von Effizienzmaßnahmen

Die Veränderung der Energieträgerpreise führt neben höheren Ausgaben für Energie auch zu Unsicherheiten mit Blick auf den betrieblichen Planungsprozess. Zur Reduzierung der Abhängigkeit von der Marktentwicklung und zur Verminderung des Energieverbrauchs wurden zahlreiche Maßnahmen vorgeschlagen (vgl. zum Beispiel [EC 2009]); aus der Perspektive der Industrie gilt ein typisches Energieeinsparpotential von

15 Prozent als realisierbar (vgl. [Schröter et al. 2009]). Allerdings werden die Einsparpotentiale trotz ihrer Wirtschaftlichkeit oft nur zögerlich in der Praxis umgesetzt. Dieses Phänomen wird als „Energieeffizienz-Paradoxon“ oder „Energieeffizienzlücke“ (vgl. [Jaffe et al. 1994]) bezeichnet und wird auf so genannte „Hemmnisse“ für den Einsatz von Energieeffizienzmaßnahmen zurückgeführt. Hemmnisse⁶ liegen unter anderem vor, wenn:

- der Energieverbrauch unbekannt ist und die Energiekosten intransparent sind,
- das Thema Energie als generell unattraktiv angesehen wird,
- es keinen Energieverantwortlichen gibt und die Mitarbeiter für das Thema nicht hinreichend sensibilisiert sind,
- Investitionen und Energiekosten aus unterschiedlichen Budgets finanziert und von unterschiedlichen Organisationseinheiten verwaltet werden,
- ungeeignete Bewertungsmaßstäbe für Effizienzinvestitionen zugrunde gelegt werden.

Die Relevanz und Ausprägung betrieblicher Hemmnisse ist von zahlreichen Faktoren abhängig wie beispielsweise der Unternehmensgröße, der Branchenzugehörigkeit, den absoluten und anteiligen Energiekosten an den Gesamtkosten, der Unternehmenskultur, dem Managementsystem, den Energiepreisen, etc. Die verstärkte Nutzung des Energiemanagements gilt als vielversprechender Ansatz, um die Relevanz derartiger Hemmnisse zu reduzieren und um die Energieeffizienz in der Produktion zu steigern.

3.2 Betrachtungsgegenstand und Instrumentarium

Unter dem Begriff „Energiemanagement“ wird im Allgemeinen eine Vielzahl unterschiedlicher Aktivitäten subsumiert, die sich im weitesten Sinne mit dem Umgang mit Energie befassen. Nach VDI4602 ist Energiemanagement „die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordinierung von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie zur Deckung der Anforderungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen“ [VDI 2007, S. 3]. Jedoch hat sich weder im

⁶ Für vertiefende Darstellungen zu Hemmnissen in der Industrie sei verwiesen auf Darstellungen von [Hirst 2003, Nagesha et al. 2006, Rohdin et al. 2006, Rohdin et al. 2007, Sola et al. 2007, Sardianou 2008, Hasanbeigi et al. 2010, Fleiter et al. 2011].

akademischen noch im praktischen Bereich bislang eine einheitliche Auffassung zu den Inhalten des Energiemanagements herauskristallisiert (vgl. [Kals 2010]).

Das betriebliche Energiemanagement kann als Management der betrieblichen Energiewirtschaft als funktionaler Teilbereich eines Unternehmens aufgefasst werden. In Anlehnung an die Arbeiten von Porter kann die betriebliche Energiewirtschaft dabei als Wertekette dargestellt werden (vgl. [Posch 2011], Abbildung 2). Sie veranschaulicht die unterschiedlichen Aktivitäten der unternehmensinternen Energiewertschöpfungskette und verdeutlicht, dass sich das Energiemanagement nicht allein auf die Steigerung der Energieeffizienz im engeren Sinne konzentriert, sondern beispielsweise auch Fragestellungen aus dem Bereich des Energiebezugs und der Energiebereitstellung umfasst.

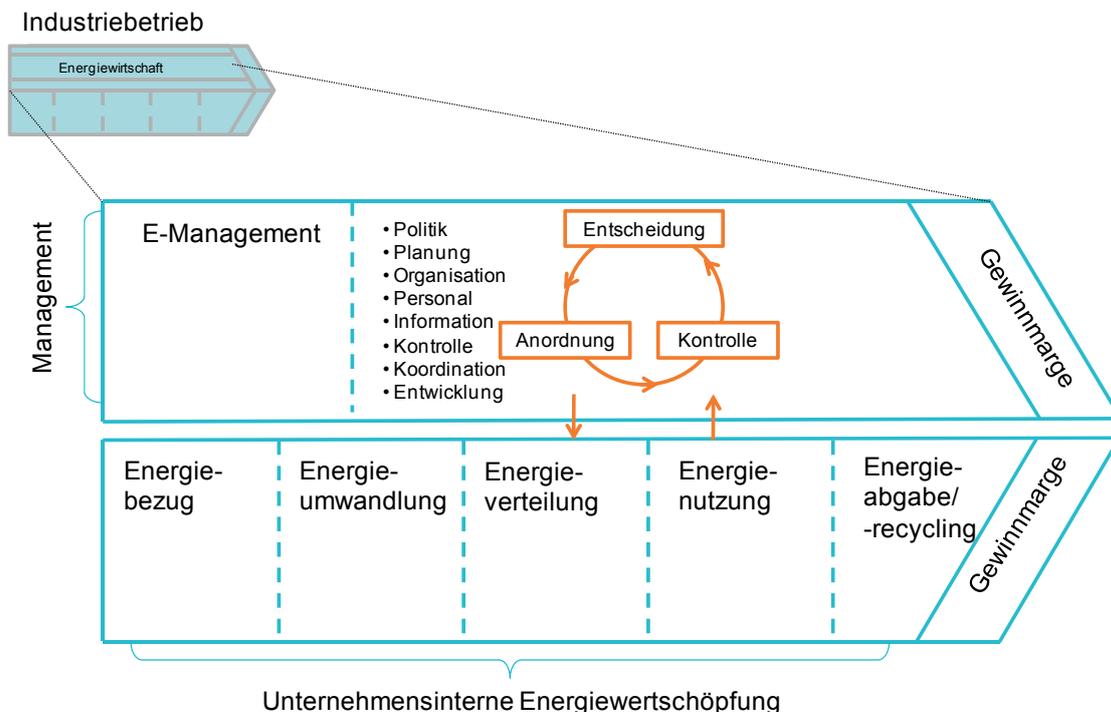


Abbildung 2: Betriebliche Energiewirtschaft als Wertekette [Posch 2011]

Das Instrumentarium des Energiemanagements im weiteren Sinne ist vielfältig. Darunter fallen Instrumente wie:

- Energieberatung und Energieaudits
- Nutzung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen
- Benchmarking-Aktivitäten (innerbetrieblich, betriebsübergreifend)

- Nutzung von Berechnungs- und Investitionshilfen
- Teilnahme an Energienetzwerken
- Energiemanagementsysteme

Bei der Wahl der Instrumente ist das verwendete Instrumentarium auf die Gegebenheiten im jeweiligen Unternehmen abzustimmen (vgl. [Schmid 2003]); dabei sind unter anderem Faktoren wie Branchenzugehörigkeit, Energieverbrauch und -kosten, Unternehmensgröße, Stand der Energieeffizienz zu berücksichtigen.

3.3 Motivation und Nutzen des Energiemanagements

Als Motivation für die Umsetzung des betrieblichen Energiemanagements werden zahlreiche Gründe genannt (vgl. [Posch 2005, VDI 2007, Hessel 2008, Kals 2010, Garetti et al. 2011]):

- Verbesserte Versorgungssicherheit und energetische Unabhängigkeit
- Risikominimierung gegenüber schwankenden Energiepreisen
- Optimierte Energiebeschaffung
- Energiekosteneinsparungen
- Transparenz von Energieströmen und Energieeinsatz

Die Wirkungen des Energiemanagements auf den betrieblichen Energieverbrauch werden dabei als durchgängig positiv eingeschätzt: Deutliche kosteneffiziente Einsparmaßnahmen bei kurzen Amortisationszeiten sind möglich und können einen Wettbewerbsvorteil darstellen (vgl. [Doty et al. 2009]). Bei der Einschätzung zum energetischen Nutzen unterscheiden sich die Angaben zu den erzielbaren Einsparungen teilweise deutlich voneinander, was sicherlich einerseits aus der begrifflichen Breite des Energiemanagements herrührt, was aber auch von der Vielzahl möglicher Maßnahmen und letztlich von den Spezifika der jeweils analysierten Fälle abhängt. So gehen [Wietschel et al. 2010] von einer Verdoppelung „des autonomen Energieeffizienzfortschritts“ auf zwei Prozent durch einen Einsatz von Energiemanagementmaßnahmen im weiteren Sinn aus; die Einführung neuer Mess-Steuer-Regelungssysteme führt zu Einsparungen von in der Regel zwei bis fünf Prozent. Mit einer breiten Auffassung des Energiemanagements sieht [Caffal 1995] Energiekosteneinsparungen zwischen vier

Prozent und im Einzelfall bis zu 40 Prozent als realisierbar an. [Worrell et al. 2009] berichtet von geschätzten Einsparungen in Höhe von rund zehn Prozent des Gesamtenergieverbrauchs in der Stahlindustrie durch verbessertes Energie- und Materialmanagement. [Gordic et al. 2010] schildern eine 25-prozentige Energieeinsparung bei einem serbischen Automobilhersteller. [Doty et al. 2009] schätzen die Höhe der Einsparungen durch Maßnahmen mit geringen Kosten in den ersten beiden Jahren auf zwischen 5 und 15 Prozent, mit moderaten Kosten und deutlichem Aufwand in den Jahren 3 bis 5 auf 15 bis 30 Prozent und auf lange Sicht, mit höheren Kosten und mehr Ingenieuraufwand, auf 30 bis 50 Prozent.

Durch die Einführung von Energiemanagementsystemen wird von Einsparungen von bis zu 10 Prozent in den ersten Jahren nach der Einführung ausgegangen (vgl. [Gudbjerg 2009, Kahlenborn et al. 2010]). Nach [McKane et al. 2009] wird langfristig im industriellen Bereich durch die Etablierung der ISO 50001 eine Energieeinsparung von 20 Prozent oder mehr erwartet.

Neben Energieeinsparungen ergeben sich allerdings auch nicht-energetische Vorteile: [Pye et al. 2000] diskutieren Energieeffizienzmaßnahmen und weisen darauf hin, dass ihre nicht-energetischen Vorteile oft die Kosteneinsparungen überwiegen und diese daher berücksichtigt werden sollten. Diese Gedanken führen [Worrell et al. 2003] weiter und sehen auf Basis einer Analyse von Fallstudien und Veröffentlichungen zu Energieeinsparungen Produktivitätsvorteile wie reduzierte Abfallmengen, niedrigere Emissionen, verbesserte Wartbarkeit und Betriebskosten, verbesserte Produktions- und Produktqualität, ein besseres Arbeitsumfeld und weitere Vorteile. Als wichtige Treiber für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen nennen [Bunse et al. 2011] neben den Energiekosten auch die Erfüllung neuer gesetzlicher und ordnungsrechtlicher Rahmenbedingungen und eine Sicherung des Absatzmarktes, sofern Kunden nach grünen und energieeffizienten Produkten und Dienstleistungen nachfragen.

3.4 Erfolgsfaktoren des Energiemanagements

Aus den historischen Erfahrungen mit der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen hat sich herauskristallisiert, dass das Bewusstsein des technischen Personals für Energiefragestellungen keine hinreichende Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des Energiemanagements darstellt: Auch einfach umzusetzende Einsparpotentia-

le wurden in der Vergangenheit trotz Anstrengungen durch industrielle Energieeffizienzprogramme nicht umgesetzt. Durch einen Mangel an Bewusstsein wurde dem Energiemanagement weniger Aufmerksamkeit gewidmet als beispielsweise der Produktionsqualität, der Reduzierung von Abfällen oder den Lohnkosten (vgl. [McKane et al. 2009]). Daher ist die Unterstützung und strategische Ausrichtung des Energiemanagements durch das Top-Management als kritischer Erfolgsfaktor für eine erfolgreiche Umsetzung des Energiemanagements zu sehen (vgl. [McKane et al. 2009, Gordic et al. 2010, Thollander et al. 2010b]). Aus der Perspektive des Managements thematisieren [Johansson et al. 2011] Faktoren für die erfolgreiche Anpassung der Organisationsstrukturen mit Blick auf das Thema Energiemanagement und arbeiten einige Empfehlungen für die Energiemanagementpraxis heraus, die langfristig eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung des Energiemanagements sind.

Neben der Unterstützung durch das Management gilt die kontinuierliche Beschäftigung mit dem Thema Energiemanagement als wichtiger Erfolgsfaktor für dessen erfolgreiche Implementierung: Oft werden bei unmittelbaren Problemen zwar energetische Maßnahmen ergriffen, allerdings werden die Ansätze oft wieder beiseite gelegt und geraten in Vergessenheit, sobald die unmittelbaren Probleme gelöst sind (vgl. [Gordic et al. 2010]). Die Ergebnisse von Energieaudits werden ebenfalls häufig nicht ausgenutzt. Gerade im Bereich von KMU fehlen oft die Kompetenzen, Verbesserungsvorschläge in die Praxis umzusetzen (vgl. [Hrustic et al. 2011]). Entsprechend ist einer kontinuierlichen Beschäftigung mit dem Thema gegenüber punktuellen Maßnahmen den Vorzug zu geben.

4 Entwicklungsrichtungen des Energiemanagements

Im Folgenden wird ein Überblick über aktuelle Entwicklungen und Aussagen zum Energiemanagement gegeben. Daraus lassen sich Hinweise auf künftige Weiterentwicklungen verschiedener technischer und konzeptioneller Aspekte des betrieblichen Energiemanagements in der Produktion ziehen. Ziel ist es dabei, mögliche Entwicklungstendenzen aufzuzeigen, ohne in dieser Kurzstudie einen Anspruch darauf zu erheben, eine erschöpfende Analyse zu diesem Thema durchzuführen. Die unterschiedlichen Hinweise sind in sieben Themenblöcken gebündelt dargestellt.

4.1 Paradigmenwechsel zum integrierten, strategischen Energiemanagement

Mit Blick auf das Verständnis des Begriffs Energiemanagement ist ein Paradigmenwechsel zu beobachten (vgl. [Posch 2011]): In der Vergangenheit wurde der Schwerpunkt des Energiemanagements auf seine ingenieurwissenschaftlichen Dimensionen gelegt; damit konnten insbesondere in der energieintensiven Industrie deutliche Erfolge erzielt werden. Durch die steigende Komplexität und Dynamik des Energiemarktes gewinnt allerdings die strategische Dimension des Energiemanagements an Bedeutung (vgl. [Posch 2011]). Wie bereits dargelegt haben Erfahrungen aus vielen Energieeffizienzprojekten gezeigt, dass ein Wandel von einmaligen Interventionen in Richtung eines kontinuierlichen, strategisch ausgerichteten Energiemanagements erforderlich ist (vgl. [Jelic et al. 2010]). Das Energiemanagement kann daher nicht mehr mit einer reinen Steigerung der Energieeffizienz gleichgesetzt werden (vgl. [Johansson et al. 2011, Posch 2011]). Statt einer rein technischen Betrachtung erfordert eine erfolgreiche betriebliche Energiewirtschaft die stärkere Integration sozio-technischer Aspekte. Dafür müssen durch das betriebliche Energiemanagement geeignete Strukturen im Betrieb geschaffen werden und geeignete Konzepte entwickelt werden.

Die Notwendigkeit einer Verknüpfung des betrieblichen Energiemanagements mit anderen betrieblichen Aspekten verdeutlicht sich an unterschiedlichen Beispielen: [Al-Ghanim 2003] identifiziert beispielsweise über ein Regressionsmodell einen Zusammenhang zwischen Wartungsqualität von Maschinen und deren Energieverbrauch. [Naumoff et al. 2007] thematisieren das Energiemanagement mit Blick auf das betriebliche Risikomanagement. [Worrell et al. 2003] formulieren einen Bedarf für Methoden zur besseren Berücksichtigung des nicht-energetischen Nutzens durch Energieeffizienzmaßnahmen. [Garetti et al. 2011] sehen das Erfordernis eines holistischen Managementansatzes für eine nachhaltige Produktion; dabei sollen neben typischen, traditionellen Parametern der Produktion Aspekte wie Materialverbrauch, Carbon Footprint oder Abfallmengen in Entscheidungen mit einbezogen werden. Passende Werkzeuge, die entsprechenden Zugriff auf relevante Informationen geben, sind zu entwickeln. [Bunse et al. 2011] weisen in ihrer Analyse ebenfalls auf einen Weiterentwicklungsbedarf von Instrumenten der Entscheidungsunterstützung hin.

Die Einbeziehung organisatorischer Aspekte des Energiemanagements hat bislang kaum Eingang in die wissenschaftliche Diskussion und betriebliche Praxis gefunden (vgl. [Posch 2005, Posch 2011]). Darüber hinaus fehlen in der wissenschaftlichen Literatur klare Ergebnisse, wie Energiemanagementpraktiken erfolgreich angewendet werden können (vgl. [Johansson et al. 2011]).

4.2 Verstetigung der Nutzung von Energiemanagementsystemen

Mit der im Sommer 2008 veröffentlichten DIN EN16001:2009 „Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung“ bzw. mit der im Juni diesen Jahres veröffentlichten ISO 50001:2011 „Energy management systems – Requirements with guidance for use“ wurde ein international einheitlicher Rahmen geschaffen, der Aufbau und Ausgestaltung von Energiemanagementsystemen festlegt. Damit werden unterschiedliche nationale Energiemanagementstandards durch einen gemeinsamen Standard abgelöst.⁷

Unter einem Energiemanagementsystem ist die „Gesamtheit von miteinander zusammenhängenden oder in Wechselwirkung zueinander stehenden Elementen einer Organisation zur Erstellung einer Energiepolitik sowie strategischer Ziele und zur Erreichung dieser Ziele“ [DIN EN 16.001, S. 7] zu verstehen.⁸ Die kürzlich veröffentlichte ISO 50001 legt dazu Anforderungen an Einführung, Verwirklichung, Aufrechterhaltung und Verbesserung eines Energiemanagementsystems fest, um eine Organisation in die Lage zu versetzen, einen systematischen Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung der energetischen Leistungsfähigkeit des Unternehmens zu verfolgen. Dabei stellt die ISO 50001 keine absoluten Energieanforderungen an die Unternehmen, sondern es müssen die Konformität mit den energiepolitischen Festlegungen des Unternehmens und die jeweils relevante Gesetzgebung eingehalten werden. Damit können die Energiemanagementsysteme bei verschiedenen Unternehmen sehr unterschiedlich ausgestaltet sein (vgl. [ISO 2011]).

⁷ Eine Übersichten über verschiedene nationale Ansätze ist bei [Kahlenborn et al. 2010] zu finden.

⁸ [Gudbjerg 2009] weist auf die Vielzahl unterschiedlicher Abgrenzungen des Energiemanagements hin. Weitere Definitionen sind beispielsweise zu finden in der VDI4602:1, S. 8, in der ISO 50001, S. 2 oder im Entwurf der Überarbeitung der Energiedienstleistungsrichtlinie, S. 19.

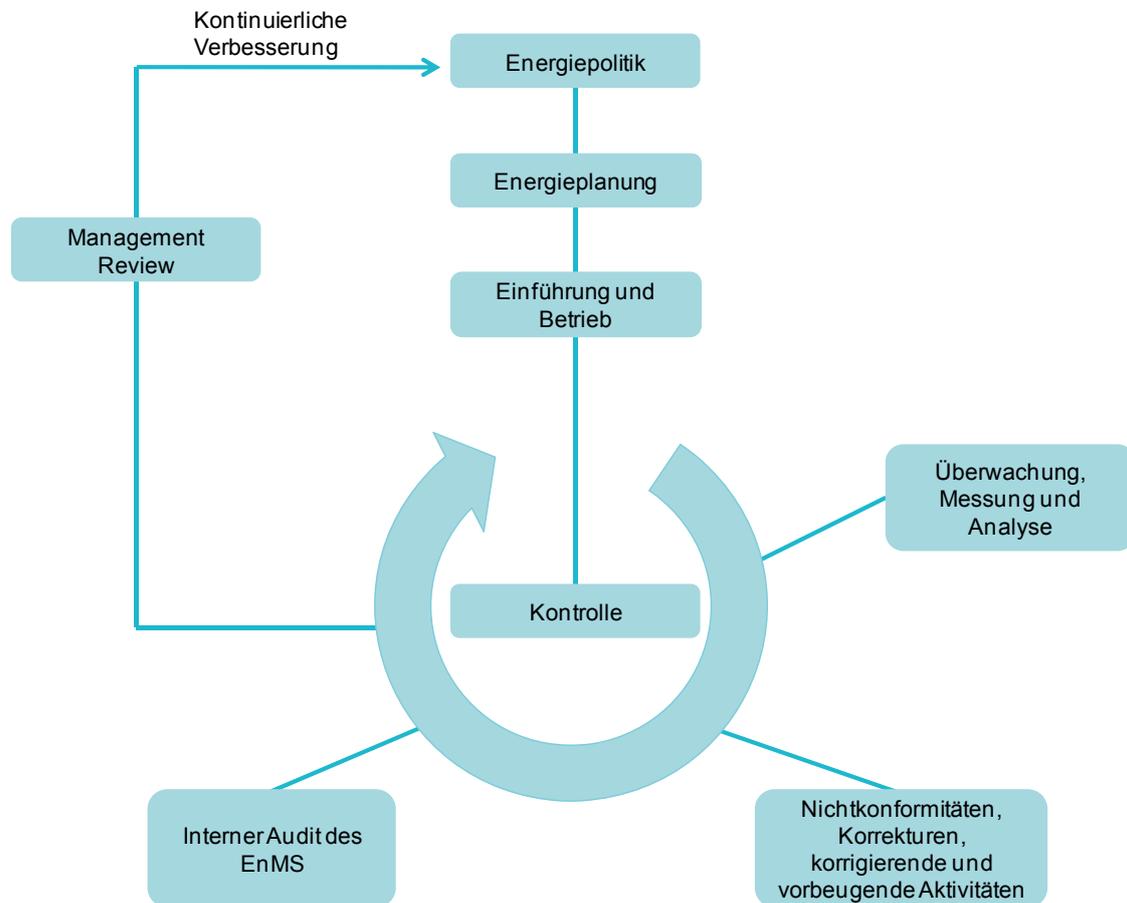


Abbildung 3: Energiemanagementsystemmodell nach ISO 5001 ([ISO 2011], eigene Übersetzung)

Das Managementmodell der ISO 50001 (Abbildung 3) fußt wie andere Managementnormen auf einen PDCA (Plan-Do-Check-Act)-Zyklus (vgl. [ISO 2011]). Entsprechend besitzt die ISO 50001 einen hohen Grad an Übereinstimmung mit der ISO 9001 (Qualitätsmanagement) und der ISO 14001 (Umweltmanagement) (vgl. [ISO 2011]). Der Aufwand für die Einführung eines Energiemanagementsystems nach ISO 50001 hängt daher unter anderem von bereits vorhandenen Erfahrungen mit derartigen Managementsystemen ab (vgl. [McKane et al. 2009]). Belastbare Angaben zum Stand der Umsetzung des Energiemanagements in den deutschen Unternehmen liegen derzeit nicht vor (vgl. [BMWi 2011]).

Energiemanagementsysteme zeichnen sich insbesondere durch ihre Verankerung in der Unternehmensstrategie und ihren systematischen, kontinuierlichen Charakter gegenüber anderen Instrumenten des Energiemanagements aus. Wenn bei steigender Fokussierung eines Unternehmens auf seine Kernkompetenzen für das Energiemanagement nur geringere Aufmerksamkeit vorhanden ist (vgl. [Thollander et al. 2010b]), so lässt sich durch den formalen Rahmen der Energieaspekt dennoch in der Unternehmensphilosophie verankern. Da derzeit noch keine Aussagen aus spezifischen Studien zu internationalen Energiemanagementstandards existieren, diskutieren [Bunse et al. 2011] die Vor- und Nachteile der Zertifizierung der Managementsysteme in Anlehnung an Umweltmanagementsysteme: Einerseits reduziert die Zertifizierung die Variabilität von Energiemanagementsystemen und erleichtert somit die Umsetzung des Energiemanagements. Andererseits haben nicht-zertifizierte Unternehmen mehr Flexibilität in der Umsetzung eines Umweltmanagements. Weitere Kritikpunkte von Umweltmanagementsystemen (ISO 14001) betreffen den Umstand, dass die Zertifizierung davon ausgeht, dass ein Unternehmen seine Umweltwirkungen durch das Managementsystem adäquat eingrenzt; sie bewertet jedoch nicht die realen Umweltwirkungen eines Unternehmens. Darüber hinaus ist eine Zertifizierung mit hohen Kosten und Ressourcenbedarf verbunden.

Mit der Etablierung eines internationalen Standards für das Energiemanagement ist damit zu rechnen, dass Bedeutung und Nachfrage nach einer Zertifizierung zunehmen, insbesondere vor dem Hintergrund der oben geschilderten Rahmenbedingungen. Damit ist gleichzeitig mit einer empirisch breiteren Basis von Erfahrungen durch praktische Erfolge von Energiemanagementsystemen zu rechnen.

4.3 Erschließung des Energiemanagements für KMU

In der Überarbeitung der europäischen Effizienzrichtlinie wird festgelegt, dass die Mitgliedsstaaten KMU konkrete Hinweise dazu geben sollen, wie ihr Unternehmen von Energiemanagementsystemen profitieren können (vgl. [EC 2011b]). Insgesamt wird von zahlreichen Möglichkeiten für energetische Verbesserungen ausgegangen, die mit anderen betrieblichen Prioritäten wie Kosteneffizienz und Produktqualität einhergehen (vgl. [Wajer et al. 2007]). In einer empirischen Analyse zum Energiemanagement in der dänischen Industrie kommen [Christoffersen et al. 2006] zu dem Schluss, dass einheitliche Maßnahmen zur Förderung des Energiemanagements nicht notwendigerweise

zielführend sind. Bei der Umsetzung des Energiemanagements muss daher auf die jeweilige Situation im Unternehmen eingegangen werden. Bei KMU sind oft spezifische Aspekte maßgeblich wie ein unzureichender Überblick über Energieströme und Energieeffizienzmaßnahmen, begrenzte prozessspezifische Detailkenntnisse, eine nachrangige Fokussierung auf Effizienzfragestellungen durch begrenzte Kapitalverfügbarkeit und keine ausgewiesenen Verantwortlichen für Energiefragen (vgl. [Schlomann et al. 2011]). Daher kommt externen Akteuren für die Initiierung und Verstetigung von energiebezogenen Aktivitäten in KMU eine wichtige Rolle zu (vgl. [Hennicke et al. 1998]). Insgesamt sind die absoluten Energiekosten daneben in KMU oft geringer. Vor diesem Hintergrund ist die vollumfängliche Einführung von Energiemanagementsystemen unter Umständen nicht geeignet. [Hrustic et al. 2011] beschreiben daher die Entwicklung einer vereinfachten Variante eines Energiemanagementsystems. Sie gehen von typischen Kosten für die Zertifizierung eines Energiemanagementsystems in Schweden von 8.000 Euro aus und merken an, dass die Zertifizierungskosten für das Energiemanagementsystem teilweise in der Höhe der Gesamtenergiekosten liegen können (vgl. [Hrustic et al. 2011]). Statt dessen wird erwähnt, dass einige Teilelemente des Energiemanagements, die zu einer erhöhten Aufmerksamkeit für das Thema führen ohne KMU zu sehr zu belasten, vorteilhaft sein könnten (vgl. [Thollander et al. 2010a]). Dementsprechend sind bestehende Instrumente des Energiemanagements in geeignete Mechanismen für KMU zu überführen.

4.4 Etablierung von Energieeffizienznetzwerken

Neben der Einführung von Energiemanagementsystemen stellen „Effizienznetzwerke“ ein weiteres Instrument des Energiemanagements dar. Das Konzept geht auf Erfahrungen aus der Schweiz in den 1990er Jahren zurück und wurde in Deutschland erstmals im Jahr 2002 als Demonstrationsprojekt gestartet (vgl. [Schmid 2003]).

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem Konzept werden derzeit Energieeffizienznetzwerke (Effizienztische) etabliert. Zu einem Effizienztisch schließen sich etwa 10 bis 20 Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen und einer Region für 3 bis 4 Jahre zusammen. Ziel eines Effizienztisches ist die gemeinsame Reduktion von Energieverbrauch und Energie- und Transaktionskosten und eine Erhöhung der Sichtbarkeit des Themas Energieeffizienz. Zunächst wird dazu auf Einzelebene der Teilnehmer eine Initialberatung zu Effizienzmaßnahmen durchgeführt und darauf aufbauend in der Teil-

nehmergruppe ein verbindliches Gruppenziel festgelegt, ohne dass bei Nicht-Erfüllung Sanktionen für die Gruppenmitglieder erwachsen. Mit einem gemeinsamen Informationsaustausch durch regelmäßige Treffen und durch Fachvorträge werden die Teilnehmer bei der Umsetzung vorgeschlagener Effizienzmaßnahmen unterstützt, müssen diese jedoch eigenverantwortlich umsetzen. Jährlich finden Überprüfungen der erreichten Zielsetzungen für die Unternehmen und den gesamten Effizienztisch statt. Der thematische Schwerpunkt der Effizienztische liegt durch die Auswahl der Teilnehmer aus unterschiedlichen Branchen (um eine offene Diskussion ohne mögliche Konkurrenzsituationen zu ermöglichen) auf den Querschnittstechnologien, wobei sich die Energiekosten in den teilnehmenden Unternehmen auf jährlich mindestens 150.000 Euro belaufen müssen (vgl. [Köwener 2007]).

Durch diesen Ansatz konnten deutliche Steigerungen des Effizienzfortschritts der beteiligten Unternehmen erreicht werden (von durchschnittlich 1 Prozent pro Jahr auf 2,5 Prozent pro Jahr bei der Stromnutzung) (vgl. [Jochem et al. 2011]). Im Sinne einer Weiterentwicklung der Netzwerke planen [Köwener et al. 2011] die Konzepte dahingehend zu erweitern, dass auch branchenspezifische Netzwerke realisierbar sind und somit prozessspezifische Maßnahmen über dieses Instrument des Energiemanagements erschlossen werden.

4.5 Weiterentwicklung von Energiekennzahlen, Kennzahlensystemen und Benchmarks

Energiekennzahlen⁹ dienen als Vergleichsgröße zur Beurteilung der energetischen Güte eines Prozesses. Sie bilden damit die Grundlage zur Verdichtung und Strukturierung von Daten, für eine technische und wirtschaftliche Bewertung von Prozessen, um Unternehmensziele zu operationalisieren und deren Erreichung zu überprüfen und um Anreizsysteme zu gestalten. Dabei sind die Kennzahlen an den jeweiligen Zweck der Analyse anzupassen (vgl. [Schieferdecker et al. 2006, Kals 2010, Bunse et al. 2011, Löffler 2011]). Dabei ist es kein Erfolgsindikator, möglichst viele Kennzahlen zu nutzen, sondern vielmehr muss die Leistung der gewählten Kennziffern anhand ihrer Wirkung beurteilt werden (vgl. [Schieferdecker 2007]). Mit Blick auf die Nutzung von Energie-

⁹ Nach [Schieferdecker et al. 2006] hat sich in der Literatur keine begriffliche Trennung von Energiekennzahlen, -kennziffern und -kennwerten durchgesetzt, weshalb hier stellvertretend nur von Energiekennzahlen gesprochen wird.

kennzahlen für Betriebsvergleiche kommt [Löffler 2011] zu dem Schluss, dass eine Vergleichbarkeit von Energiekennzahlen nur eingeschränkt möglich ist, sieht aber gleichzeitig bis zu einem gewissen Grad einen Bedarf für Energiekennzahlen zur Identifizierung von Einsparpotenzialen, zur Prozess- und Anlagenwahl und für das Controlling. In vielen Betrieben und KMU werden Energiekennzahlen derzeit nicht verwendet (vgl. [Löffler 2011]), und firmenübergreifende Vergleichszahlen sind nur begrenzt verfügbar. Der Wunsch nach Benchmarking- und Vergleichsmöglichkeiten zwischen Unternehmen und Betriebsbereichen wird dazu führen, dass bestehende Vergleichskonzepte erweitert und mit Daten gefüllt werden müssen. [Garetti et al. 2011] sehen die Verfügbarkeit von standardisierten Energieeffizienzindikatoren und Methoden zur Bestimmung der Energieeffizienz als Voraussetzung für die Reduzierung des Energieverbrauchs und für die Umsetzung von Benchmarks. Auf Basis dieser Kennzahlen in Verbindung mit geeigneter Ausrüstung für die Datenerfassung können dann echtzeitbasierte Planungs- und Steuerungsansätze umgesetzt werden. [Bunse et al. 2011] weisen ebenfalls darauf hin, dass derzeit überwiegend nationale oder branchenbezogene Kennzahlen vorhanden sind. Demgegenüber sind geeignete und standardisierte Kennzahlen auf Maschinen-, Prozess- und Fabrikebene, auch als Grundlage für Benchmarks auf Fabrik- und Prozessebene und zum Vergleich von Maschinen und Anlagen weitgehend nicht verfügbar (vgl. [Bunse et al. 2011]). In diesem Sinne diskutiert beispielsweise [Kumana 2009] Energieeffizienz Kennzahlen für die chemische Prozessindustrie; [Gallachóir et al. 2009] befassen sich mit der energieorientierten Kennzahlenentwicklung auf Fabrikebene. Neben der Kennzahlenentwicklung müssen gleichzeitig geeignete Instrumente bereitgestellt werden, um die über Kennzahlen erschlossenen Informationen auf einfache Weise darstellen und auswerten zu können (vgl. [Bunse et al. 2011]).

4.6 Fortschrittliche Sensor-, Kommunikations- und Analysesysteme

Eine Grundlage für die Auswertung von Kennzahlen und Benchmarks ist die Datenerfassung. Dafür sind die Weiterentwicklung und der Einsatz kostengünstiger Sensortechnik vonnöten und versprechen insbesondere im Bereich der Stückgüterproduktion deutliche Einsparungen (vgl. [Garetti et al. 2011]). Daneben bietet die Entwicklung energieautarker, drahtloser Sensoren, die auch bei rauen Umgebungsbedingungen einsetzbar sind, neue Möglichkeiten für das Energiemanagement (vgl. [Wietschel et al.

2010]). Dabei wird der Einsatz von Sensoren durch die Weiterentwicklung der Sensorarchitektur und Informationsinfrastrukturen in Richtung selbstorganisierender Ad-hoc-Netzwerke vereinfacht und schafft die notwendige Informationsgrundlage für einen energieoptimalen Betrieb von Anlagen und Prozessen (vgl. [Wietschel et al. 2010, Garetti et al. 2011]). Im Zuge der Weiterentwicklung der Sensortechnik müssen auch geeignete Lösungen geschaffen werden, um die erfassten Daten effizient zu systematisieren und mit anderen Datenhaltungssystemen zu verknüpfen.

Durch die Ausweitung von Sensorik, Datenerfassung und -analyse werden die Möglichkeiten für eine Fernüberwachung und -wartung von Produktionsprozessen künftig steigen. Dies erschließt einerseits neue Möglichkeiten für eine Weiterentwicklung des Energiemanagements im Bereich der Energiedienstleistungen durch Dritte, bietet andererseits aber auch neue Gestaltungsmöglichkeiten für ein übergreifendes Energiemanagement entlang der Wertschöpfungskette oder darüber hinaus die Ausgestaltung lokaler Energieverbände, bei denen verfügbare Energieströme über Unternehmensgrenzen zielgerichtet ausgetauscht werden können.

Auch für den Bereich der Produkt- und Prozessgestaltung wird die Überwachung und Analyse von energiebezogenen Parametern neue Möglichkeiten für Effizienzverbesserungen bieten. Die erfassten Daten und daraus gezogene Schlüsse bilden eine Grundlage für die Designoptimierung von Prozessen und Anlagen. So können auf Basis von Überwachungsdaten künftig beispielsweise geeignetere Materialien bei der Anlagenplanung gewählt werden, innovative Oberflächenstrukturen angewendet werden oder zu erwärmende oder zu bewegende Massen minimiert werden (vgl. [Wietschel et al. 2010]).

4.7 Energiesensible Simulations- und Optimierungsansätze

Eng in Verbindung mit der Datenerfassung steht die Auswertung und Nutzung dieser Daten durch geeignete Softwarelösungen. [Fichtner 2007] befasst sich mit dem betrieblichen Energiemanagement im liberalisierten Elektrizitätsmarkt und diskutiert die wachsende Bedeutung der Energiebeschaffung: Künftig müssen Nachfrager in der Lage sein, auf kurzfristige Preisentwicklungen adäquat zu reagieren, die auch durch das Angebot fluktuierender, erneuerbarer Energieträger bestimmt werden. Das betriebliche Energiemanagement muss einen Rahmen schaffen, um entsprechend reagieren

zu können und den Energiefluss regeln zu können (vgl. ebd.). Damit wird ein Wandel von bisherigen Lastmanagementsystemen, die primär zur Kappung von Leistungsspitzen eingesetzt wurden, hin zu Systemen notwendig, die auf Preissignale und Preisvorhersagen reagieren. Voraussetzung ist ein permanenter Datenaustausch mit Energiebörsen bei erhöhter Verarbeitungsgeschwindigkeit derzeit existierender Systeme, wobei auch längere Analysezeiträume abgedeckt werden müssen (vgl. [Wietschel et al. 2010]).

Dies bedingt auch ein geeignetes Zusammenspiel des Energiemanagements mit anderen Bereichen des Unternehmens, beispielsweise der Produktionsplanung, um die Produktionsprogrammplanung unter Berücksichtigung der Energiepreise optimal gestalten zu können. Dazu sind physikalische Prozessmodelle zu verbessern; durch selbstlernende und selbstregelnde Prozesssteuerungen können Prozesse ihren Energiebedarf eigenständig optimieren. In Verbindung mit geeigneter Sensortechnik können adaptive Prozesse beispielsweise bei wechselnden Produkten den Fertigungsprozess jeweils energieoptimal ansteuern (vgl. [Wietschel et al. 2010, Garetti et al. 2011]). Über einzelne Prozessschritte hinaus versprechen integrative Simulationsansätze, die gesamte Prozesskette bereits vorab digital abzubilden und energieoptimal auszulegen, auch zur Ableitung eines energieoptimalen Produktdesigns. Zur Beherrschung der Komplexität sind dabei geeignete Methoden und Werkzeuge erforderlich, die Entwickler durch automatisierte Ansätze in der Entwicklung und dem Test von Lösungen unterstützen (vgl. [Wietschel et al. 2010]).

5 Fazit

Ziel dieser Kurzstudie ist es, einen Überblick über aktuelle Themen und Entwicklungen im Bereich des betrieblichen Energiemanagements in der Industrie zu geben und Eckpunkte für künftige Weiterentwicklungen des Themas darzustellen.

Vor dem Hintergrund der steigenden Relevanz von Fragestellungen zum Energieverbrauch zeigt sich das betriebliche Energiemanagement als ein geeigneter Rahmen, um deutliche Fortschritte bei der betrieblichen Energieeffizienz zu erzielen. Bei einer Nutzenbetrachtung sind dabei nicht ausschließlich die energetischen Einsparungen zugrunde zu legen, sondern weitere positive Effekte sind mit in die Analyse einzubeziehen. Insgesamt gilt bei der Ausgestaltung des betrieblichen Energiemanagements,

dass die jeweils gewählte Form, Zielsetzung und Ausgestaltung des Energiemanagements an die jeweiligen spezifischen Erfordernisse des Unternehmens angepasst sein müssen. Dabei müssen sowohl technische wie auch organisatorische Aspekte Berücksichtigung finden.

Bei der Betrachtung der zugrunde liegenden Literatur zeigt sich, dass das Thema aus wissenschaftlicher Sicht weiter vertieft werden muss und eine Erweiterung des Themenfeldes notwendig erscheint.

Das Thema Energiemanagement wird künftig weiter an Bedeutung gewinnen und sich einhergehend mit dem Fortschreiten technischer und organisatorischen Lösungen als interdisziplinärer Ansatz weiterentwickeln.

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.

6 Anhang

Anhang A: Leitfäden

Herausgeber:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Titel:	DIN EN 16001: Energiemanagementsysteme in der Praxis. Ein Leitfaden für Unternehmen und Organisationen.
Jahr:	2010
Inhalt:	Der Leitfaden unterstützt Organisationen jedweder Art, Größe und Branchenzugehörigkeit bei der Implementierung eines Energiemanagementsystems und thematisiert Unterschiede und Gemeinsamkeiten zum europäischen Umweltmanagementsystem EMAS und zur ISO 14001.
Verfügbar:	http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3959.pdf
Herausgeber:	Deutsche Energieagentur (dena)
Titel:	Handbuch für betriebliches Energiemanagement. Systematisch Energiekosten senken.
Jahr:	2009
Inhalt:	Das Handbuch zeigt, wie ein effektives Energiemanagement im Unternehmen eingeführt werden kann.
Informationen:	http://www.dena.de/themen/thema-strom/publikationen/publikation/betriebliches-energiemanagement Kosten: 23,20 Euro
Herausgeber:	Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Titel:	Total Energy Efficiency Management. Energiemanagementsysteme. Leitfaden zur Umsetzung.
Jahr:	2009
Inhalt:	Der Leitfaden gibt Organisationen eine Hilfestellung zur Umsetzung der Anforderungen der ISO 16001 und zeigt die wesentlichen Elemente eines Energiemanagementsystems auf und verknüpft diese mit den Anforderungen der Norm.
Verfügbar:	http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/www.ipa.fhg.de/pdf/Fabrikplanung_und_Produktionsoptimierung/Projekte/TEEM_D-04a_Leitfaden_EMS_final_090702.pdf

Herausgeber:	Österreichische Energieagentur
Titel:	Schritt für Schritt Anleitung für die Implementierung von Energiemanagement
Jahr:	2007
Inhalt:	Das Handbuch führt industrielle KMU aller Branchen durch den Energiemanagement-Implementierungsprozess.
Verfügbar:	http://www.energymanagement.at/fileadmin/elearning/Tools_Startaktivitaeten/Energiemanagement_Handbuch_ka_eeb.pdf
Herausgeber:	Europäische Kommission
Titel:	EMAS Energy Efficiency Toolkit for Small and Medium sized Enterprises
Jahr:	2004
Inhalt:	Ein Toolkit erklärt eine schrittweise Analyse eines Energiesystems und hilft KMU, den derzeitigen Energieverbrauch in unterschiedlichen Unternehmensbereichen zu analysieren, eine Vergleichsbasis für die Überwachung zu schaffen und zeigt Ansätze für typische Verbesserungen auf.
Verfügbar:	http://ec.europa.eu/environment/emas/pdf/general/energyeff_en.pdf

Anhang B: Weitere Dokumente und Internetlinks

Titel:	Referenzdokument zu besten verfügbaren Technologien: Energieeffizienz (englisch)
Inhalte:	Eine Zusammenstellung verschiedener Energieeffizienzmaßnahmen.
Link:	ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ENE_Adopted_02-2009.pdf
Titel:	Webseite des Bess-Projekts
Inhalte:	Zusammenstellung von Informationen rund um das Thema Energieeffizienz in KMU.
Link:	http://www.bess-project.info/
Titel:	KfW Sonderfonds Energieeffizienz in KMU
Inhalte:	Informationen zu Fördermöglichkeiten der Energieberatung in KMU.
Link:	http://www.foerderdatenbank.de/Foerder-DB/Navigation/Service/publikationen,did=309004.html
Titel:	Marktspiegel Energiemanagementsoftware
Inhalte:	Übersicht über unterschiedliche Softwarelösungen zur Unterstützung des Energiemanagements der EnergieAgentur.NRW.
Link:	http://www.energieagentur.nrw.de/tools/emsmarktspiegel/default.asp?site=ea
Titel:	Modulares Energie-Effizienz-Modell
Inhalte:	Pilotprojekt zur Einführung von Energiemanagementsystemen in Unternehmen.
Link:	http://www.modeem.de/
Titel:	30-Pilotnetzwerke
Inhalte:	Webseite der 30-Energieeffizienznetzwerke der Fraunhofer Gesellschaft.
Link:	http://30pilot-netzwerke.de/nw-de/

7 Literatur

- Al-Ghanim, A. (2003): A statistical approach linking energy management to maintenance and production factors. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9 (1), S. 25-37.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2011): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2008. Online: www.ag-energiebilanzen.de. Zugriff: 02.09.2011.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2009): *Energierohstoffe 2009. Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- BMWi (2011): 2. Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) der Bundesrepublik Deutschland. Gemäß EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen. Online: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/energieeffizienz/energieeffizienz_deutschland/energieeffizienzaktionsplan/2_neeap_de.pdf. Zugriff: 02.09.2011.
- Bundesregierung (2007a): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm.
- Bundesregierung (2007b): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm.
- Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010. In: BMWi; BMU (Hrsg.), Berlin.
- Bunse, K.; Vodicka, M.; Schönsleben, P.; Brühlhart, M.; Ernst, F. O. (2011): Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 19 (6-7), S. 667-679.
- Caffal, C. (1995): Learning from experiences with Energy Management in Industry. In: Hodgson, S. (Hrsg.), *Caddet Analyses Series*, Sittard: Center for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies.
- Christoffersen, L. B.; Larsen, A.; Togeby, M. (2006): Empirical analysis of energy management in Danish industry. *Journal of Cleaner Production*, 14 (5), S. 516-526.
- Doty, S.; Turner, W. C. (2009): *Energy management handbook*. Lilburn, GA: The Fairmont Press, Inc.
- EC (Europäische Kommission) (2009): Reference Document on Best Available Techniques for Energy efficiency. Online: ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/ENE_Adopted_02-2009.pdf. Zugriff: 11.04.2010.
- EC (Europäische Kommission) (2010a): *Energie 2020. Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie*.

- EC (Europäische Kommission) (2010b): Europa 2020. Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum.
- EC (Europäische Kommission) (2011a): Energieeffizienzplan 2011.
- EC (Europäische Kommission) (2011b): Vorschlag für Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Energieeffizienz und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG.
- Eurostat (2011a): Gaspreise für industrielle Verbraucher. Online:
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Zugriff: 22.05.2011.
- Eurostat (2011b): Strompreise für industrielle Verbraucher. Online:
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Zugriff: 20.05.2011.
- Fichtner, W. (2007): Betriebliches Energiemanagement im liberalisierten Elektrizitätsmarkt. In: Fichtner, W. (Hrsg.): Betriebliches Energiemanagement 2007. Berlin: dissertation.de, S. 5-10.
- Fleiter, T.; Worrell, E.; Eichhammer, W. (2011): Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (6), S. 3099-3111.
- Gallachóir, B. Ó.; Caiman, C. (2009): Modelling energy consumption in a manufacturing plant using productivity KPIs. eceee 2009 Summer Study, 1.-6. Juni, La Colle Sur Loup, Frankreich, S. 1155-1161.
- Garetti, M.; Taisch, M. (2011): Sustainable manufacturing: trends and research challenges. Production Planning & Control, S. 1-22.
- Gordic, D.; Babic, M.; Jovicic, N.; Sustersic, V.; Koncalovic, D.; Jelic, D. (2010): Development of energy management system - Case study of Serbian car manufacturer. Energy Conversion and Management, 51 (12), S. 2783-2790.
- Gudbjerg, E. (2009): EMS as a Policy Instrument for Energy Efficiency in Ireland, Sweden and Denmark. In: Bertoldi, P.; Antanasius, B. (Hrsg.): Energy Efficiency in Motor Driven Systems, 14.-17.09.2009, Nantes, Frankreich, S. 399-410.
- Hasanbeigi, A.; Menke, C.; du Pont, P. (2010): Barriers to energy efficiency improvement and decision-making behavior in Thai industry. Energy Efficiency, 3, S. 33-52.
- Hennicke, P.; Ramesohl, S.; Starzer, O.; Togeby, M.; Gjesse, L.; Klok, J.; Ostertag, K.; Gruber, E.; Frahm, T.; Barthel, C.; Becker, C.; Merten, F.; Prose, F.; Clases, C. (1998): InterSEE. Interdisciplinary Analysis of Successful Implementation of Energy Efficiency in the industrial, commercial and service sector. Final report., Copenhagen, Karlsruhe, Kiel, Vienna, Wuppertal.
- Hessel, V. (2008): Energiemanagement: Maßnahmen zur Verbrauchs- und Kostenreduzierung, Förderprogramme, Vorschriften. Erlangen: Publicis Publishing.

- Hirst, E. (2003): Overcoming Barriers to Effective Energy Management in Industrial Settings. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 29.07.-01.08.2003, Hilton Ryetown, Rye Brook, NY, USA.
- Hrustic, A.; Sommarin, P.; Thollander, P.; Sönderström, M. (2011): A simplified energy management system towards increased energy efficiency in SMEs. Proceedings of the World Renewable Energy Congress 2011 (WREC 2011) Linköping, Sweden.
- ISO (2011): ISO 50001:2011 - Energy management systems. Requirements with guidance for use. Genf: ISO.
- Jaffe, A. B.; Stavins, R. N. (1994): The energy-efficiency gap. What does it mean? Energy Policy, 22 (10), S. 804-810.
- Jelic, D. N.; Gordic, D. R.; Babic, M. J.; Koncalovic, D. N.; Sustersic, V. M. (2010): Review of Existing Energy Management Standards and Possibilities for its Introduction in Serbia. Therm. Sci., 14 (3), S. 613-623.
- Jochem, E.; Gruber, E. (2011): Local learning-networks on energy efficiency in industry – Successful initiative in Germany. Applied Energy, 84 (7-8), S. 806-816.
- Johansson, P.-E.; Thollander, P.; Moshfegh, B. (2011): Towards increased energy efficiency in industry - a manager's perspective. World Renewable Energy Congress 2011, 08.-13.05.2011, Linköping, Schweden.
- Kahlenborn, W.; Knopf, J.; Richter, I. (2010): Energiemanagement als Erfolgsfaktor. International vergleichende Analyse von Energiemanagementnormen, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Kals, J. (2010): Betriebliches Energiemanagement: eine Einführung. Stuttgart: Kohlhammer.
- Köwener, D. (2007): Lernende Netzwerke mit Energieeffizienztischen. In: Fichtner, W. (Hrsg.): Betriebliches Energiemanagement 2007. Berlin: dissertation.de, S. 67-79.
- Köwener, D.; Mielicke, U.; Jochem, E. (2011): Energy efficiency networks for companies - concept, achievements and prospects. In: Lindström, T.; Nilsson, L. (Hrsg.): eceee Summer Study 2011, 6.-11. Juni, Belambra Presqu'île de Giens, Frankreich, S. 725-733.
- Kumana, J. D. (2009): Meaningful energy efficiency performance metrics for the process industries. Thirty-First Industrial Energy Technology Conference, 12.-15. Mai 2009, New Orleans, LA.
- Löffler, T. (2011): Energiekennzahlen für Betriebsvergleiche. Abschlussbericht für die sächsische Energieagentur, www.gewerbeenergiepass.de/tycon/file.php?id=5961. Zugriff: 10.09.2011.
- McKane, A.; Williams, R.; Meffert, W.; Matteini, M. (2009): Industrial Energy Efficiency As Standard Practice. In: Bertoldi, P.; Antanasiu, B. (Hrsg.): Energy Efficiency in Motor Driven Systems, 14.-17.09.2009, Nantes, Frankreich, S. 391-398.

- Nagesha, N.; Balachandra, P. (2006): Barriers to energy efficiency in small industry clusters: Multi-criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. *Energy*, 31 (12), S. 1969-1983.
- Naumoff, C.; Shipley, A. M. (2007): Industrial Energy Efficiency as a Risk Management Strategy. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 30.09.-02.10.2007, Claremont Hote, Berkeley CA, USA., S. (4-)82-92.
- OECD/IEA (International Energy Agency) (2009): World Energy Outlook 2009. International Energy Agency, Paris, S. 691.
- OECD/IEA (International Energy Agency) (2010): World Energy Outlook 2010. International Energy Agency, Paris, S. 731.
- Posch, W. (2005): Organizational Success Criteria for Effective Energy Management in an Energy Intensive International Holding Company. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 19.-22. Juli, Thayer Hotel, West Point NY, USA. S. (3-)107-118.
- Posch, W. (2011): Ganzheitliches Energiemanagement für Industriebetriebe. Wiesbaden: Gabler, Springer.
- Pye, M.; McKane, A. (2000): Making a stronger case for industrial energy efficiency by quantifying non-energy benefits. *Resources, Conservation and Recycling*, 28 (3-4), S. 171-183.
- Rohdin, P.; Thollander, P. (2006): Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. *Energy*, 31 (12), S. 1836-1844.
- Rohdin, P.; Thollander, P.; Solding, P. (2007): Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry. *Energy Policy*, 35 (1), S. 672-677.
- Sardianou, E. (2008): Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 16 (13), S. 1416-1423.
- Schieferdecker, B. (2007): Energierrelevante Kennziffern. Ein wirksames Tool im permanenten Betrieblichen Energiemanagement. In: Fichtner, W. (Hrsg.): *Betriebliches Energiemanagement 2007*. Berlin: dissertation.de, S. 39-49.
- Schieferdecker, B.; Fuenfgeld, C.; Bonneschky, A. (2006): *Energiemanagement-Tools: Anwendung im Industrieunternehmen*. Berlin et al.: Springer.
- Schlomann, B.; Fleiter, T.; Hirzel, S.; Arens, M.; Rohde, C.; Eichhammer, W.; Cebulla, F.; Elstrand, R.; Singer, N.; Gerspacher, A.; Indrissova, F.; Jochem, E.; Mai, M.; Reitze, F.; Toro, F. A.; Wittich, K.; Hassan, A. (2011): Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken. Schlussbericht. (Unveröffentlicht).
- Schmid, C. (2003): *Energieeffizienz in Unternehmen. Eine handlungsorientierte und wissensbasierte Analyse von Einflussfaktoren und Instrumenten*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Dissertation. Zürich: ETH.

- Schröter, M.; Weißfloch, U.; Buschak, D. (2009): Energieeffizienz in der Produktion: Wunsch oder Wirklichkeit? Energieeinsparpotenziale und Verbreitungsgrad energieeffizienter Techniken. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung.
- Sola, A. V. H.; Xavier, A. A. d. P. (2007): Organizational human factors as barriers to energy efficiency in electrical motors systems in industry. Energy Policy, 35 (11), S. 5784-5794.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2010): Statistisches Jahrbuch 2010. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011): Genesis-Online. Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. Online: www.destatis.de/genesis. Zugriff: 05.09.2011.
- Thollander, P.; Dotzauer, E. (2010a): An energy efficiency program for Swedish industrial small- and medium-sized enterprises. Journal of Cleaner Production, 18 (13), S. 1339-1346.
- Thollander, P.; Ottosson, M. (2010b): Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. Journal of Cleaner Production, 18 (12), S. 1125-1133.
- VDI (2007): VDI 4602-1:2007. Energiemanagement. Begriffe. Berlin: Beuth.
- Wajer, B. H.; Helgerud, H. E.; Lackner, P. (2007): Benchmarking and energy management schemes in SMEs. ecee 2007 Summer Study, 4.-9. Juni, La Colle sur Loup, Frankreich, S. 1573-1582.
- Wietschel, M.; Arens, M.; Dötsch, C.; Herkel, S.; Krewitt, W.; Markewitz, P.; Möst, D.; Scheufen, M. (Hrsg.) (2010): Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung. Technologiebericht. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.
- Worrell, E.; Bernstein, L.; Roy, J.; Price, L.; Harnisch, J. (2009): Industrial energy efficiency and climate change mitigation. Energy Efficiency, 2 (2), S. 109-123.
- Worrell, E.; Laitner, J. A.; Ruth, M.; Finman, H. (2003): Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. Energy, 28 (11), S. 1081-1098.