

# **Erweiterung des Unternehmenscontrollings um die Dimension Energie**

Der Technischen Fakultät der  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
zur  
Erlangung des Doktorgrades Dr.-Ingenieur

vorgelegt von

Tobias Rackow  
aus Starnberg

Als Dissertation genehmigt von  
der Technischen Fakultät der  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Tag der mündlichen Prüfung:	13.09.2016
Vorsitzender des Promotionsorgans:	Prof. Dr. rer. nat. Peter Greil
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. J. Franke Prof. Dr. rer. pol. M. Beckmann Prof. Dr. rer. pol. P. Schuderer

Tobias Rackow

Erweiterung des Unternehmenscontrollings um die Dimension Energie

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Jörg Franke, der mich nach meinem Studium davon überzeugt hat, die Promotion an seinem Lehrstuhl anzutreten. Durch die von ihm gewährte Freiheit bei der Ausgestaltung meines Forschungsprojektes konnte ich meine Neugierde rund um die Problemstellung des Promotionsthemas in jeder Hinsicht entfalten. Dabei stand er mir mit offener Tür und klaren Worten jederzeit beratend zur Seite; die gemeinsamen Diskussionen gaben mir unschätzbar wertvolle Anregungen, welche die Ergebnisse meiner Arbeit sehr bereichert haben.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Peter Schuderer, der mir das Vertrauen und die Möglichkeit gegeben hat, mich in zahlreichen Industrieprojekten einzubringen. Durch die eigenverantwortliche Durchführung der Projekte konnte ich mich persönlich weiterentwickeln und meine Forschungsansätze mit der realen Welt spiegeln.

Herrn Prof. Dr. Markus Beckmann danke ich herzlich für die Erstellung des Gutachtens und allen damit verbundenen Mühen. Herrn Prof. Dr. Nico Hanenkamp und Herrn Prof. Dr. Johann Jäger danke ich für Vor- bzw. Beisitz in der Prüfungskommission.

Für die kollegiale und freundschaftliche Lehrstuhlatsmosphäre gilt mein Dank allen Kolleginnen und Kollegen. Besonders bedanken möchte ich mich bei Toni Donhauser, der die (Zusammen-)Arbeit jeden Tag zu einer großen Freude gemacht hat; bei meinem Forschungsbereichsleiter Matthias Brossog für sein offenes Ohr und Ratschläge aller Art zu jeder Zeit; sowie bei Gertrud Stretz, die mich immer unterstützt hat – gerade, wenn es dringend war.

Mein größter Dank gilt meiner Frau, meiner Familie und meinen Freunden für ihre Bereitschaft, mich in jedweden Interessen uneingeschränkt zu unterstützen und ihr damit verbundenes Verständnis, wenn die Tage am Schreibtisch etwas länger wurden.

Erlangen, im September 2016

Tobias Rackow

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Energie-Controlling in produzierenden Unternehmen.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Identifikation von Handlungsbedarfen in der Unternehmenssteuerung .....</b>	<b>6</b>
2.1	Das Controlling als Subsystem der Unternehmensführung .....	6
2.1.1	Organisatorische und funktionale Grundlagen des klassischen Controllings.....	6
2.1.2	Der Einfluss von Nachhaltigkeitsthemen auf das Controlling .....	9
2.1.3	Die Kostenrechnung im Rahmen des Controllings – Überblick und Darstellung ausgewählter Instrumente .....	13
2.2	Umwelt-Controlling-Instrumente und Energiemanagementsysteme .....	16
2.2.1	Instrumente der Umweltbetrachtung auf Unternehmensebene.....	16
2.2.2	Instrumente zur umweltbezogenen Lebenszyklusbetrachtung auf Produktebene.....	18
2.2.3	Verbesserung der Energieeffizienz durch Managementsysteme.....	21
2.3	IT-Unterstützung im Umfeld des Energie-Controllings.....	24
2.3.1	Betriebliche Umweltinformationssysteme und Energiedatenmanagementsysteme.....	24
2.3.2	Funktionsumfänge der am Markt verfügbaren Energiedatenmanagementsysteme.....	25
2.3.3	Prognoseinstrumente künftiger Energieverbräuche zur Verbesserung von Energieeffizienz und Energiekosten.....	27
2.4	Kritische Würdigung und Ableitung des Forschungsbedarfs.....	31
2.4.1	Zusammenfassung und Bewertung des Standes der Technik .....	31
2.4.2	Entwicklung einer Energie-Controlling-Methodik.....	34
2.4.3	Entwicklung einer Energie-Controlling-Software .....	35

<b>3</b>	<b>Methode zur Allokation von Energieverbräuchen auf Produkte entlang einer Wertschöpfungskette .....</b>	<b>37</b>
3.1	Erfassung von Energieverbräuchen bei der Herstellung von Produkten entlang einer Wertschöpfungskette .....	37
3.1.1	Einführung des Kennwerts $KEA_H^*$ zur durchgehenden Erfassung von Energieverbräuchen in einer Wertschöpfungskette .....	38
3.1.2	Kommunikation und Verknüpfung eigener $KEA_H^*$ -Werte mit denen der Zulieferer.....	41
3.1.3	Bilanzgrenzen und Treibhausgasemissionen im Rahmen des $KEA_H^*$ -Wertes .....	43
3.2	Entwicklung eines Schemas zur Allokation von Energieverbräuchen.....	45
3.2.1	Entwicklung des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas durch Spiegelung am mehrstufigen Zuschlagskalkulationsschema der Kostenrechnung .....	45
3.2.2	Beschreibung der Elemente des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas.....	48
3.2.3	Maschinenstundensatzrechnung im $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema .....	54
3.3	Anwendung des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas am Beispielunternehmen .....	55
3.3.1	Vorstellung des Unternehmens.....	55
3.3.2	Bestimmung der $KEA_H^*$ -Werte je Produkt.....	57
3.3.3	Interpretation der Ergebnisse des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas.....	60
3.4	Weiterentwicklungsmöglichkeiten des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas .....	61
3.4.1	Schwächen des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas .....	61
3.4.2	Instrumente zur verursachungsgerechten Verteilung von Gemeinenergieverbräuchen.....	63
3.4.3	Verwendungsmöglichkeiten des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas in der Kostenrechnung.....	65

<b>4</b>	<b>Energie-Controlling auf Basis des KEA<sub>H</sub>*-Kennwerteschemas .....</b>	<b>69</b>
4.1	Planung von Energieverbräuchen auf Basis des KEA <sub>H</sub> *-Kennwerteschemas .....	70
4.1.1	Planung von Einzelenergieverbräuchen des Materials und der Fertigung.....	70
4.1.2	Planung von Gemeinenergieverbräuchen des Materials, der Fertigung und des Unternehmens.....	72
4.1.3	Zusammenfassender Vergleich der Planungsinstrumente und Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten der Planungsergebnisse.....	75
4.2	Erfassung von Produktions- und Energieverbrauchsdaten.....	77
4.2.1	Notwendige Infrastruktur zur Datenerfassung.....	78
4.2.2	Zuordenbarkeit gemessener Verbräuche mit den KEA <sub>H</sub> *-Kennwerten.....	81
4.2.3	Erstellung von Messkonzepten .....	83
4.3	Kontrolle, Steuerung und Berichterstattung von Energieverbräuchen .....	86
4.3.1	Kontroll- und Steuerungsmethoden für Energieverbräuche .....	86
4.3.2	Benchmarking als Kontrollinstrument der Energieeffizienz .....	89
4.3.3	Kommunikationsmöglichkeiten der KEA <sub>H</sub> *-Werte.....	91
<b>5</b>	<b>Prototypische Umsetzung einer Energie-Controlling-Software.....</b>	<b>98</b>
5.1	Aufbau und Funktionsweise des Energy-Cockpits.....	98
5.1.1	Technische Infrastruktur des Energy-Cockpits.....	98
5.1.2	Datenbank des Energy-Cockpits.....	100
5.1.3	Programmaufbau des prototypischen Energy-Cockpits .....	102
5.2	Test des Energy-Cockpits anhand zweier Anwendungsbeispiele.....	110
5.2.1	Darstellung der Anwendungsumgebungen .....	111
5.2.2	Anwendung des Energy-Cockpits an Unternehmen 1.....	114
5.2.3	Anwendung des Energy-Cockpits an Unternehmen 2.....	116

5.3	Kritische Betrachtung des Energy-Cockpits.....	118
5.3.1	Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Testphase .....	118
5.3.2	Gegenüberstellung von Anforderungen an eine Energie- Controlling-Software und Umsetzungsgrad durch das Energy-Cockpit .....	119
5.3.3	Entwicklungspotenziale des Energy-Cockpits.....	121
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b>Summary.....</b>	<b>125</b>
<b>8</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>127</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>131</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>147</b>



# 1 Energie-Controlling in produzierenden Unternehmen

Der Anteil der Kernenergie an der Bruttostromerzeugung in Deutschland betrug im Jahr 2014 knapp 16 Prozent. Durch den von der Bundesregierung beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie ergibt sich eine entsprechend große Versorgungslücke an elektrischer Energie. Der Import von Energie, die Erhöhung des Anteils fossiler Energien sowie die Steigerung des Anteils regenerativer Energien können Gegenmaßnahmen sein. Autarkie- und Nachhaltigkeitsüberlegungen disqualifizieren jedoch steigende Stromimporte und den Ausbau fossiler Energienutzung. Die Erhöhung des Anteils regenerativer Energien wird zwar vorangetrieben, reicht allerdings durch die hohe Volatilität des Stromangebots aus Wind- und Sonnenenergie mittelfristig nicht alleine zum Schließen der Versorgungslücke. Als weitere Option bietet sich die Reduzierung des Energieverbrauchs durch Steigerung der Energieeffizienz an. Insbesondere der Sektor Industrie inklusive verarbeitendem Gewerbe, der mit ca. 47 Prozent einen Großteil des Stromverbrauchs in Deutschland verursacht, stellt einen starken Hebel dar, um einen nachhaltigen und kostensenkenden Beitrag zum Gelingen der Energiewende zu leisten. [1; 2]

Die Strompreise sind, auch bedingt durch die Energiewende, in den letzten Jahren signifikant gestiegen. Mit 35,1 Prozent stellt die Umlage zur Finanzierung der Energiewende einen entscheidenden Anteil (siehe Abbildung 1) [3].

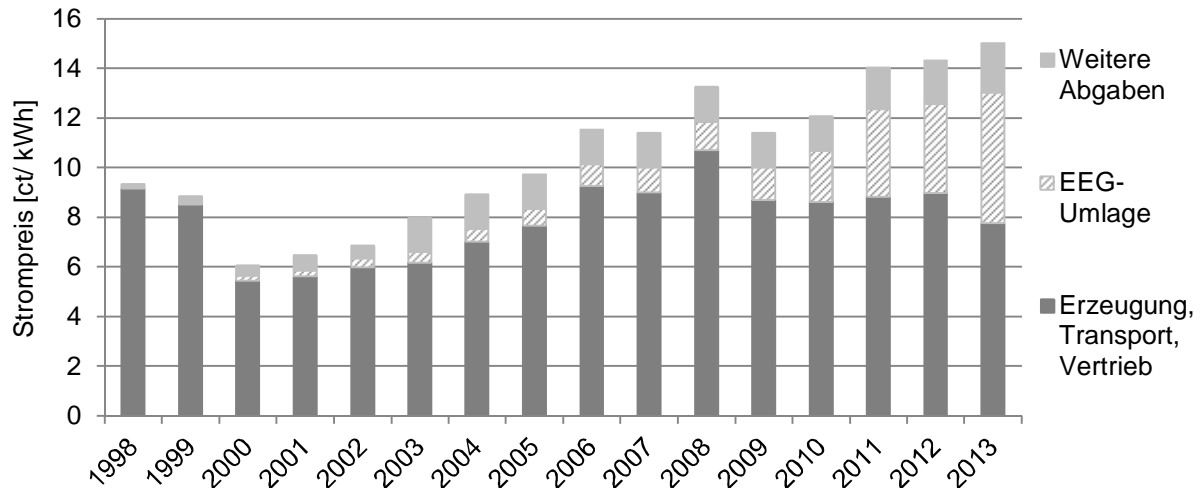


Abbildung 1: Zusammensetzung des durchschnittlichen Strompreises für Industriekunden (Verbrauch 500 MWh p.a. bis 2.000 MWh p.a.) [3]

Das Heben von Energieeffizienzpotenzialen ist somit nicht nur gesellschaftlich, sondern auch für die Unternehmen selbst attraktiv. So hat die EEG-Umlage parallel zur Finanzierungsfunktion auch eine Anreizfunktion für produzierende Unternehmen zur Einführung von Energiemanagementsystemen, um strukturiert an der Reduktion der energiebezogenen Leistung zu arbeiten.

Steigende Energiekosten wirken sich konsequenterweise auch auf die Preisbildung von Produkten aus. So gaben in einer branchenübergreifenden Studie viele Unternehmen einen hohen (37 Prozent der teilnehmenden Unternehmen) bis sehr hohen (weitere 13 Prozent der teilnehmenden Unternehmen) Einfluss der Energiekosten auf die Preiserstellung der Produkte an. [4] Auch in preissensitiven Branchen ergreift eine steigende Anzahl an Unternehmen Maßnahmen, um zusätzliche Energiekosten an die Kunden weiterzugeben. [5]

Dem Endkunden ist durch eine wachsende Sensibilisierung für Nachhaltigkeitsthemen zudem an einer umweltgerechten Produktion gelegen [6; 7], sodass insbesondere größere Unternehmen Betrachtungen der Nachhaltigkeit in das Unternehmensreporting aufnehmen. [8]

Die angeführten Aspekte münden somit für produzierende Unternehmen in drei zentrale Aufgabenstellungen:

- Schaffung von Transparenz über die Energieverbräuche;
- Steigerung der Energieeffizienz;
- Kommunikation von Informationen über Energieverbrauch und -effizienz.

Es gibt jedoch weder geeignete Methoden noch (Software-)Tools, welche die Bearbeitung dieser Aufgaben sowohl in der notwendigen Tiefe als auch in angemessener Zeit ausreichend unterstützen. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) bewertet den Energiebedarf während Produktherstellung, -verwendung und -recycling [9]. Die Umweltauswirkungen durch Treibhausgasemissionen, bewertet in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, können für Unternehmen mittels Carbon Accounting [10] und für Produkte mittels Product Carbon Footprint (PCF) [11] abgeschätzt werden. Für die Betrachtung sämtlicher umweltrelevanter Faktoren eines Unternehmens oder eines Produkts eignet sich das Öko-Controlling [12].

Diese und weitere Instrumente helfen für eine erste Abschätzung der verbrauchten Energiemenge. Durch ihre Konzeption sind sie jedoch für die geforderte Schaffung von Transparenz über Energieverbräuche eines Unternehmens ungeeignet. Da sie auf Rohdaten aufbauen, berücksichtigen sie die individuellen Umstände eines Unternehmens und dessen Zulieferer nicht. Die energetischen Zusammenhänge können also weder genau noch aktuell dargestellt werden.

Durch den Internationalen Controller Verein (ICV), Zeitschriftenbeiträge und Sammelbände wurde die Fachwelt bereits für diese Thematik sensibilisiert. [13; 14; 15] Eine umfassende Methodik, welche ein belastbares Abbild über die Energieverbräuche bei der Produktherstellung entlang einer Wertschöpfungskette liefert, ist in der Literatur allerdings nicht beschrieben. Dieses ist jedoch notwendig, um intern und extern auskunftsfähig über die Energieeffizienz der Unternehmung zu sein und zudem Energieeinsparpotenziale aufdecken zu können.

Somit ergibt sich die Forschungsaufgabe aus folgender Fragestellung:

Wie können mittels einer Methodik die tatsächlich anfallenden Energieverbräuche produzierender Unternehmen im Rahmen der Produktherstellung entlang der kompletten Wertschöpfungskette erfasst werden, sodass sowohl unternehmensindividuell als auch unternehmensübergreifend strukturiert an der Verbesserung der Energieeffizienz der Unternehmen im Sinne eines (Energie-) Controllings gearbeitet werden kann?

Für die Lösung der Forschungsaufgabe eignet sich das Controlling mit seinen Kompetenzen zur Beschaffung, Aufbereitung und Bereitstellung der notwendigen Informationen. Damit das Controlling der Aufgabe gerecht werden kann, soll eine Energie-Controlling-Methodik entwickelt werden, welche in vertretbarem zeitlichem Aufwand einen inhaltlich fundierten Mehrwert bietet. Dabei soll auf Analogien zu den Methoden des klassischen Controllings geachtet werden. Entsprechend muss die Methodik

- sowohl unternehmensübergreifend und entlang der gesamten Wertschöpfungskette als auch unternehmensindividuell Transparenz über vergangene, aktuelle und künftige Energieverbräuche herstellen;
- die verschiedenen Energiearten erfassbar und vergleichbar machen, sodass Optimierungspotenziale erschlossen werden können;
- die Möglichkeit bieten, produktbezogene Produktionsmengen mit den entsprechenden, gemessenen Energieverbräuchen zu verknüpfen;
- imstande sein, alle Energieverbräuche inklusive der Gemeinenergieverbräuche den hergestellten Produkten so verursachungsgerecht wie möglich zuzuordnen;
- die im Vorhinein geplanten Energieverbräuche mit den realen Energieverbräuchen vergleichbar machen können.

Durch Etablierung und konsequente Anwendung der Energie-Controlling-Methodik kann ein Unternehmen vor dem Kunden ein produktbezogenes Alleinstellungsmerkmal erzeugen und mit der nun nachweisbaren Energieeffizienz des Unternehmens insgesamt werben.

Aus instrumenteller Perspektive resultiert aus der Forschungsaufgabe die Fragestellung, ob eine Softwarelösung die Energie-Controlling-Methodik im Rahmen

- der produktbezogenen Energieverbrauchsplanung,
- der Datenerhebung sowie
- der Gegenüberstellung von Plan- und Ist-Werten

unterstützen kann – wobei gleichzeitig zu prüfen ist, inwiefern bestehende IT-Tools hierfür bereits geeignet sind.

Die Forschungsaufgabe wird nach der in Abbildung 2 dargestellten Struktur bearbeitet.

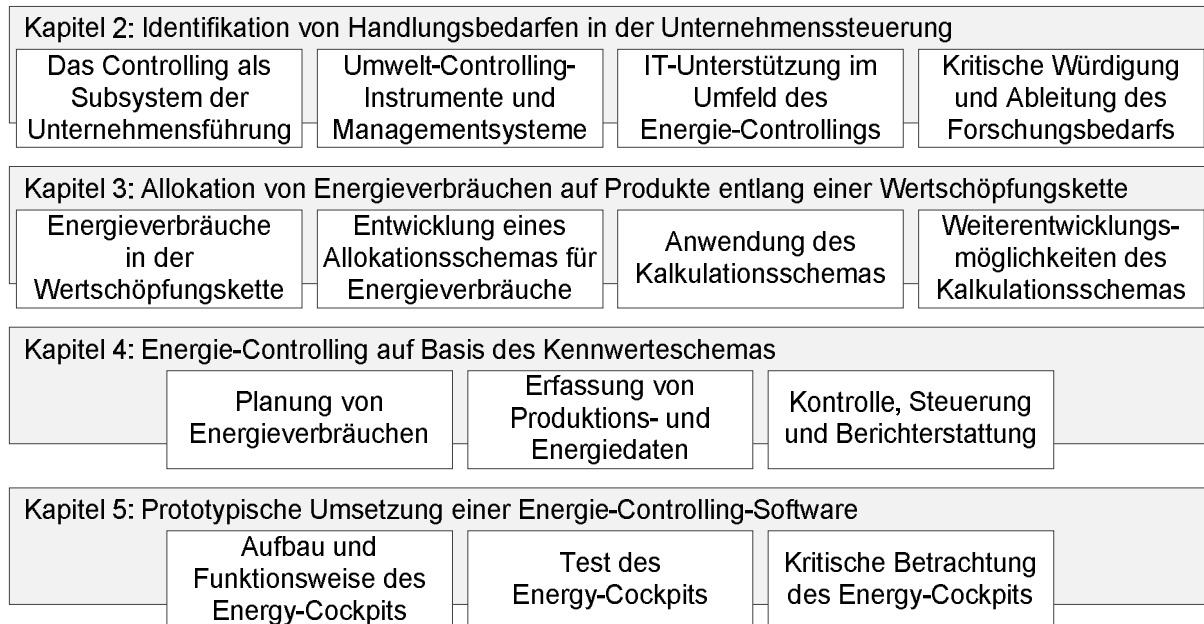


Abbildung 2: Vorgehensweise zur Entwicklung der Energie-Controlling-Methodik

Kapitel zwei behandelt den Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei wird zunächst das klassische Controlling beschrieben, um anschließend Instrumente des Umwelt-Controllings inklusive (Energie-)Managementsysteme zu erläutern. Darauf aufbauend werden bereits vorhandene IT-Lösungen betrachtet. Schließlich wird der Stand von Wissenschaft und Technik zusammengefasst, um aus den gewonnenen Erkenntnissen die Handlungsbedarfe in den Bereichen Methodik und Softwareunterstützung abzuleiten.

In Kapitel drei wird eine Methode zur Allokation von Energieverbräuchen auf Produkte in einer Wertschöpfungskette beschrieben. Hierzu wird ein Kennwert eingeführt, welcher alle Energieverbräuche entlang der Wertschöpfungskette zur Herstellung eines Produkts widerspiegelt. Zu dessen Bestimmung wird ein Kennwerteschema definiert. Auf Basis dieser einzelnen Kennwerte wird schließlich ein Allokationsschema entwickelt, mittels dessen jedes Unternehmen der Wertschöpfungskette die im Unternehmen auftretenden Energieverbräuche auf die hergestellten Produkte allokalieren kann. Diese Methode wird anschließend anhand eines Beispielunternehmens angewendet, um folglich Weiterentwicklungsmöglichkeiten zu identifizieren.

In Kapitel vier werden Instrumente zur Planung von Energieverbräuchen auf Unternehmensebene vorgestellt. Es folgt eine Darstellung, wie die Planwerte durch geeignete Messstrukturen überprüft werden können. Abschließend wird gezeigt, wie mit der Kontrolle, der Steuerung und der Berichterstattung von Energieverbräuchen der finale Schritt des Energie-Controllings ausgestaltet ist.

Mit der prototypischen Software Energy-Cockpit soll das Energie-Controlling unterstützt werden. Kapitel fünf beschreibt zunächst deren Aufbau und Funktionsweise. Im Anschluss wird das Energy-Cockpit anhand zweier Beispielunternehmen getestet. Aufgrund der gewonnen Erkenntnisse wird bewertet, inwiefern Softwareunterstützung einen Beitrag zum Energie-Controlling leisten kann und welche Entwicklungspotenziale auf Softwareseite bestehen.

Kapitel sechs fasst schließlich die Inhalte der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf weitere Forschungsbedarfe.

Die im Rahmen der Arbeit zu entwickelnde Energie-Controlling-Methodik wird in Tabelle 1 am 7-S-Modell [16] gespiegelt.

*Tabelle 1: Spiegelung des Energie-Controllings am 7-S-Modell (vgl. [16])*

Kernvariable	Anforderung an das Energie-Controlling
Strategy (Strategie)	Die Aufnahme des energieeffizienten Handelns in die Unternehmensstrategie begründet die Notwendigkeit eines Energie-Controllings.
Structure (Struktur)	Die Aufbauorganisation muss nicht verändert werden. Das Aufgabenspektrum bestehender Strukturen wird durch das Energie-Controlling ergänzt.
Systems (Systeme)	Eine Software soll das Energie-Controlling in geeigneter Weise unterstützen.
Skills (Fähigkeiten)	Das Energie-Controlling liefert eine Methodik zur Anwendung, um die adressierten Aufgabenstellungen bearbeiten zu können.
Staff (Mitarbeiter)	Bestehende Personalstrukturen, insbesondere im Controlling, können die Aufgaben des Energie-Controllings umsetzen.
Style (Kultur)	Das Energie-Controlling schafft Transparenz über Energieverbräuche, führt so zu bewussterem Handeln und beeinflusst daher die Unternehmenskultur.
Superordinate goals (Leitbild)	Das Leitbild sollte zum bewussten Umgang mit Ressourcen anhalten. Die Energie-Controlling-Methodik unterstützt dies.

Es ist ersichtlich, dass die Einführung einer Energie-Controlling-Methodik in allen Kernvariablen eines Unternehmens positive Einflüsse hat.

## 2 Identifikation von Handlungsbedarfen in der Unternehmenssteuerung

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über den Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich des Energie-Controllings. Hierzu wird zunächst das Controllingwesen und dessen Ergänzungen um Nachhaltigkeitsaspekte beschrieben. Es folgt eine Übersicht über Instrumente des Controllings mit dem Fokus auf Umwelt und Energie. Im Anschluss werden unterstützende IT-Applikationen im Umfeld des Energie-Controllings beschrieben. Schließlich werden der Stand der Technik kritisch gewürdigt und Forschungsbedarfe abgeleitet.

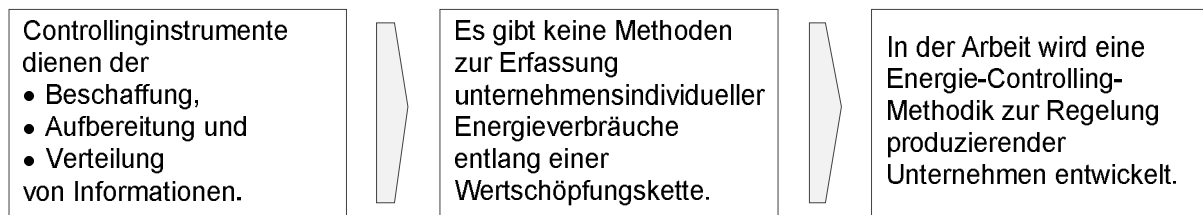


Abbildung 3: Wesentliche Aussagen von Kapitel 2

### 2.1 Das Controlling als Subsystem der Unternehmensführung

Im folgenden Abschnitt wird das Wesen des Controllings im Unternehmen motiviert. Zunächst werden die organisatorischen und funktionalen Grundlagen des klassischen Controllings erläutert. Darauf aufbauend werden spezielle Controllinginstrumente aus dem Bereich der Kostenrechnung beschrieben. Schließlich wird darauf aufbauend die Weiterentwicklung des Controllings unter dem Einfluss von Nachhaltigkeitsansätzen beschrieben.

#### 2.1.1 Organisatorische und funktionale Grundlagen des klassischen Controllings

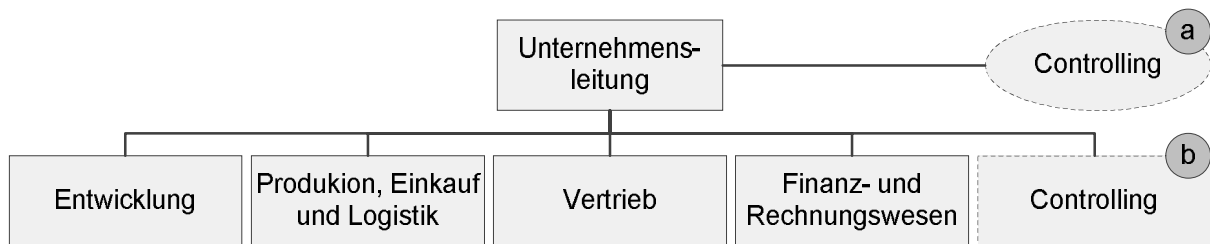
Der folgende Absatz gibt einen kurzen Einblick in das klassische Controllingwesen als Grundlage für alle darauf aufbauenden Weiterentwicklungen.

##### Aufgaben und organisatorische Einordnung des Controllings

Die Aufgabe des Controllingwesens ist nicht einheitlich definiert. [17; 18] Im weiten Sinne wird sie darin gesehen, die Unternehmensleitung durch Schaffung von Transparenz auf dem Weg zur Erreichung von Zielen zu unterstützen. [19] Die Controller befähigen die Entscheidungsträger daher zur zielorientierten Handlungsweise, indem sie die Daten- und Informationsversorgung gewährleisten, Planungsaktivitäten vorbereiten, Abweichungsanalysen durchführen und relevante Erkenntnisse in aufbereiteter Form an das Management berichten. [20] Die wissenschaftlichen Ansätze der unterschiedlichen Controllingtheorien laufen dabei in der Praxis von selbst zusammen: Das Controlling stellt unter Gewährleistung von

Rationalität [21] die Koordination von Planung und Informationsversorgung durch Kennzahlen [22] sicher, um die Ausrichtung des Unternehmens an dessen Zielen sicherzustellen. [23]

Die organisatorische Einordnung des Controllings unterscheidet sich je nach Unternehmen in Abhängigkeit von dessen Größe, Kultur, Komplexität sowie der vorherrschenden Organisations- und Verantwortungsstruktur. Wie in Abbildung 4 dargestellt, kann das Controlling dabei grundsätzlich als Stabs- oder als Linienstelle organisiert sein.



*Abbildung 4: Organisatorische Einordnung des Controllings als Stabsstelle (a) bzw. in der Linie (b)*

Beim Controlling als Stabsfunktion ist die Nähe zum Management bei gleichzeitiger Neutralität gegenüber den Ergebnissen vorteilhaft. Allerdings hat das Controlling hier lediglich eine Beratungsfunktion, während das Controlling in der Linienfunktion aktiv zum Unternehmenserfolg beitragen kann, indem Verbesserungsvorschläge für das operative Geschäft direkt eingebracht werden können. [17; 19; 24] Unabhängig von der organisatorischen Einordnung haben größere Unternehmen tendenziell eher ein dezentrales Controlling aufgebaut (bspw. mehrere Bereichscontrolling-Einheiten, die an das zentrale Controlling berichten). [25]

### Teilgebiete und Funktionsweise des Controllings

Das Controlling kann in verschiedene Teilgebiete gegliedert werden. Mögliche Abgrenzungskriterien sind u.a. der zeitliche Horizont oder funktionale Aspekte.

Der zeitliche Horizont lässt sich in operatives (kurzfristiger, z.B. einjähriger Fokus) und strategisches (Fokus von fünf und mehr Jahren) Controlling unterteilen. [19] Das strategische Controlling hat die Existenzsicherung zum Ziel und orientiert sich primär an unternehmensexternen Informationen. Es soll dabei helfen, die Potenziale des Unternehmens voll auszuschöpfen. [24] Das operative Controlling soll die strategischen Ziele überwachen und ist primär unternehmensintern orientiert. Die zugrundeliegenden Informationen sind eher quantitativer Natur und in ihrer Qualität weitgehend belastbar. [26]

Unterscheidet man das Controlling nach funktionalen Aspekten, wird entsprechend der betrieblichen Funktionsbereiche differenziert. Es ergeben sich Teilgebiete wie

z.B. das Produktions-, das Logistik- oder das Finanzcontrolling. [27] Das Produktionscontrolling hat zur Aufgabe, die betriebswirtschaftlichen Sachverhalte der Produktionsprozesse abzubilden. Es wird dabei zwischen der Inanspruchnahme von Ressourcen (mengenmäßig und monetär) und den Ergebnissen der Produktionsprozesse (z.B. Stückzahlen, Qualität, Zeit) unterschieden. Beispiele für wesentliche Kennzahlen sind etwa die Produktivität, die Fertigungstiefe oder die Durchlaufzeit der Aufträge durch die Fertigung. [28; 29]

Primäre Aufgabe des Logistikcontrollings ist es, Tätigkeiten wie das Transportieren, das Umschlagen und das Lagern von Gütern in Bezug auf Menge, Qualität und Zeit zu erfassen und zu bewerten. Auf Grundlage dieser Informationen kann das Logistikcontrolling darüber hinaus eine koordinative Rolle zwischen Produktion, Beschaffung und Logistik selbst einnehmen. [30]

Das Finanzcontrolling muss die Rationalität im Finanzmanagement sicherstellen. Die Finanzmittel müssen möglichst effizient eingesetzt werden, sodass die Finanzziele erreicht werden können. Die Teilbereiche des Finanzcontrollings ergeben sich entsprechend durch Kombination aus Führungsunterstützung (etwa durch Erhöhung der Sicherheit, Stabilität und Transparenz von Entscheidungen des Finanzmanagers bei dessen gleichzeitiger Entlastung) und Qualitätssicherung (der Finanzcontroller in der Rolle als kritischer Berater). [31]

Die Arbeitsweise des Controllings ergibt sich aus den Kernaufgaben (Informations-) Analyse, Planung und Reporting. Dieses Zusammenspiel ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt.

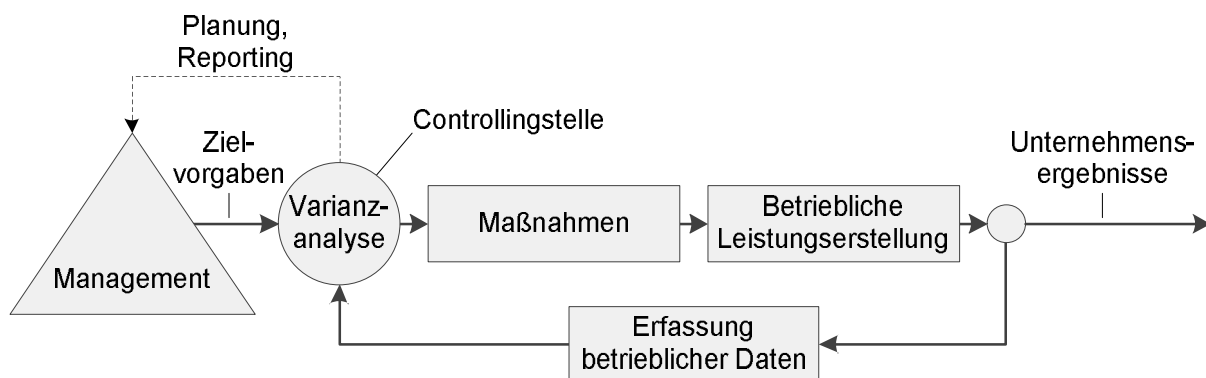


Abbildung 5: Schematische Abbildung eines Controlling-Regelkreises

Das Management gibt Unternehmensziele vor, welche durch geeignete Maßnahmen bzw. durch den Prozess der betrieblichen Leistungserstellung erreicht werden sollen. In regelmäßigem Turnus werden die Unternehmensergebnisse unter Verwendung betrieblicher Daten mit den ursprünglich vorgegebenen Zielen gespiegelt. Diese Varianzanalyse wird von der Controllingstelle vorgenommen. Die Erkenntnisse werden im Rahmen des Reportings an das Management zurückgegeben.



Gleichzeitig unterstützt das Controllingwesen das Management bei der weiteren Planung, sodass neue Zielvorgaben festgelegt werden können. Parallel dazu werden Maßnahmen definiert, welche bei etwaigen Zielverfehlungen gegensteuern sollen. Der Regelkreis beginnt von neuem. (Vgl. auch [32])

### Instrumente des Controllings

Zum effizienten Controllingwesen gehören nicht nur Kennzahlen, sondern auch Instrumente und Methoden, mit denen diese einerseits gebildet und andererseits dargestellt werden können. Wichtige Controllinginstrumente sind beispielsweise die Kapitalflussrechnung (zur Analyse der Liquiditätssituation), Verfahren der Investitionsbeurteilung (statische und dynamische), das Berichtswesen (als Instrument zur Bereitstellung von Informationen) oder Budgetierungen (als monetäres Instrument zur Abstimmung). [33]

Lange Zeit hatten Unternehmen ihren Blick auf Finanzkennzahlen fokussiert. Der einseitige Blick auf Kennzahlen wie Kapitalrendite, Gewinnmarge oder Unternehmensgewinn je Aktie kann zu kurzfristig motivierten Entscheidungen führen und den langfristigen Unternehmenserfolg gefährden. [34; 35] Um diesem Umstand entgegenzuwirken, wurde das Instrument der „Balanced Scorecard“ (BSC) vorgeschlagen. Die Balanced Scorecard ist eine Zusammenstellung von Kennzahlen, die einen kurzen, aber umfassenden Überblick ermöglichen. Die Kennzahlen sind dabei in die vier Sichten der Finanz-, Kunden-, Prozess- und in die Lern- und Entwicklungsperspektive untergliedert (siehe Abbildung 6).

Finanziell	Interne Geschäftsprozesse	Lernen und Entwicklung	Kunde
Ziele und Kennzahlen	Ziele und Kennzahlen	Ziele und Kennzahlen	Ziele und Kennzahlen

Abbildung 6: *Balanced Scorecard BSC (vgl. [36])*

Somit vereint die Balanced Scorecard mehrere grundverschiedene Kennzahlen in einem Management Report, die den Zustand des Unternehmens beschreiben. Einseitig motivierte Entscheidungen können so vermieden werden, da die Auswirkung auf andere Ziele sichtbar wird. [36]

#### 2.1.2 Der Einfluss von Nachhaltigkeitsthemen auf das Controlling

Im folgenden Absatz werden Entwicklungen des Controllings beschrieben, die aus dem wachsenden Fokus auf Nachhaltigkeit resultieren.

### **Weiterentwicklung der Aufgaben eines Controllers aufgrund von Nachhaltigkeit**

Die Entwicklung des Controllings betrachtet unter dem Stichwort Nachhaltigkeits-Controlling zunehmend Themenstellungen, die über die klassischen Betrachtungsfelder des Bereichs-Controllings hinausgehen. [37; 38; 39] Der Gesetzgeber, Nichtregierungsorganisationen (NGO) und die Öffentlichkeit erwarten bspw. von Unternehmen Auskunft über Herkunft und Verwendung von umweltrelevanten Ressourcen. Gleichzeitig steigt seitens der Konsumenten, Investoren oder Wettbewerber der Druck zum klimafreundlichen Handeln [8; 40] – oder Unternehmen agieren aus innerer Überzeugung heraus. [41] Da der Zeitaufwand zur Erfassung, Interpretation und Kommunikation umweltrelevanter Informationen mit steigender Komplexität des Unternehmensgegenstandes wächst, eignet sich das Controlling für die Übernahme dieser neuen Aufgaben. Die Verknüpfung von Emissionen und Finanzzahlen liegt bspw. auf Grundlage des vorhandenen System- und Methodenwissens im Kompetenzbereich des Controllings. Bei zu hoher Komplexität der Sachverhalte kann jedoch Unterstützung durch die Fachbereiche notwendig werden. [42]

Im Zuge der Ausrichtung des Controllings in Richtung von Nachhaltigkeitsthemen ist auch die Kostenrechnung gefordert, Instrumente (weiter) zu entwickeln, mittels derer umweltwirksame Sachverhalte bei der Leistungserstellung sinnvoll quantifiziert werden können. Je nach Aufgabenstellung des Managements muss dabei die Umweltkostenrechnung (bzw. das Umwelt-Controlling) angepasst werden. [43]

Bei der Einbeziehung von umweltbezogenen Faktoren (im ökologischen Sinne) ist grundsätzlich zwischen Kosten für entstandene Schäden und Kosten für die Vermeidung von Schäden zu unterscheiden. [44] Die korrekte monetäre Bewertung von Umweltschäden, die eine Gemeinschaft (z.B. eine Volkswirtschaft) betreffen, ist in vielen Fällen schwer abbildbar. Bei den Kosten für das Handling von Abfällen geht dies eher als etwa bei der Bewertung von Luft- und Gewässerverschmutzung oder von Lärmemissionen. Folglich lassen sich auch kalkulatorische Kosten bspw. durch potenzielle Veränderung der Umweltbedingungen aufgrund nicht getroffener Umweltschutzmaßnahmen nicht ermitteln. [45] In letzter Konsequenz lassen sich daher viele externe Umweltschutzeffekte im Rahmen der Kostenrechnung nicht umfassend bewerten.

### **Corporate Social Responsibility (CSR)**

Der Umstand, dass Ergebnisse von Maßnahmen zum Schutz der Umwelt nicht umfassend quantifiziert werden können, macht diese jedoch nicht weniger wichtig. Für den verantwortungsvollen Umgang eines Unternehmens (des „Verantwortungssubjekts“ [46]) mit dem Teil der Gesellschaft, mit der es in direkter oder indirekter Wechselwirkung steht, hat sich daher die Idee der „Corporate Social Responsibility“ (CSR) entwickelt. Der weit gesteckte Begriff umfasst eine interne und externe

Komponente. Er impliziert die Felder Kapital, Mitarbeiter, Gesellschaft, Umwelt und Geschäftspartner. [47] Ein CSR-Konzept soll also nach gängiger Auffassung nicht nur passiv zum Gemeinwohl beitragen, indem durch das erfolgreiche Wirtschaften Steuern gezahlt und Arbeitsplätze geschaffen und erhalten werden. Die aktive Übernahme von Verantwortung gegenüber allen Stakeholdern (inklusive Partnern in der Wertschöpfungskette) über das rechtlich geforderte Maß hinaus wird ebenso erwartet. [48] Dabei müssen CSR-Strategien nicht immer ein Abwägen von Kompromissen sein, sondern können auch in win-win-Ergebnisse umgewandelt werden. [49]

### Der (ökonomische) Triple-Bottom-Line-Ansatz

Die Gesamtverantwortung eines Unternehmens, die aus dem CSR-Konzept folgt, lässt sich gut in soziale, ökonomische und ökologische Bereiche unterteilen, die sich gegenseitig bedingen. Da ökologische Nachhaltigkeit langfristig nur in einem gesunden ökonomischen und einem gleichzeitig sozial stabilen Umfeld möglich ist, greift der „Triple-Bottom-Line-Ansatz“ diese Ergänzung der ökonomischen Sichtweise durch soziale und ökologische Aspekte auf. [50] Finanzieller Mehrwert ökologischer und sozialer Maßnahmen durch Risiko- oder Reputationseffekte stellt sich häufig erst langfristig ein, muss jedoch bei der umfassenden Bewertung von Maßnahmen berücksichtigt werden. [51] Der „ökonomische Triple-Bottom-Line-Ansatz“ modifiziert den klassischen Ansatz, indem die ökonomische Komponente stärker gewichtet wird (Abbildung 7).

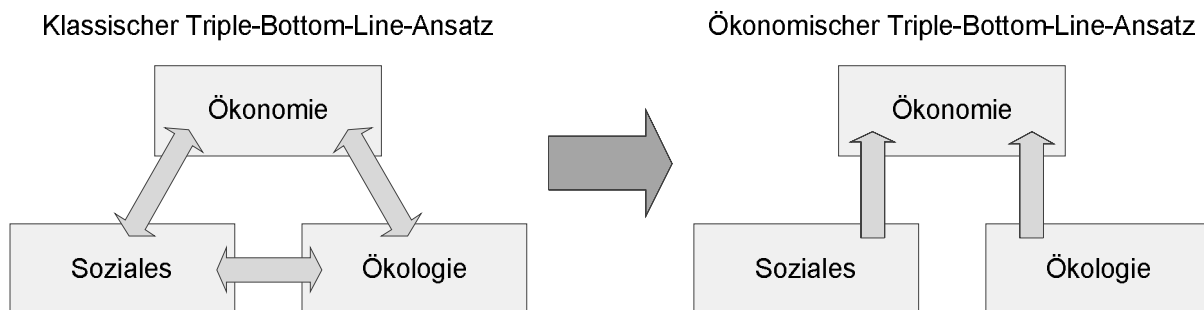


Abbildung 7: Modifikation des Triple-Bottom-Line-Ansatzes (vgl. [42])

Diese Modifikation trägt der realen Situation vieler Unternehmen Rechnung, in der soziale und ökologische Maßnahmen nur bei ökonomischem Mehrwert berücksichtigt werden. [42]

### Das Umwelt-Controlling zur Steuerung ökonomischer und ökologischer Aspekte

Für den ökologischen Teil im Rahmen des Nachhaltigkeitscontrollings spannt der Begriff des Umwelt-Controllings den weitesten Bogen auf. Das Schlagwort „Green-Controlling“ deckt dabei einen ähnlichen Bereich des Controllings ab wie das

Umwelt-Controlling. [52] Der ICV definiert das Green-Controlling sinngemäß als die Erweiterung des klassischen Controllings um die Dimension der ökologischen Nachhaltigkeit. [13; 53] Eine unmittelbare Abgrenzung zum ursprünglichen Begriff Umwelt-Controlling fällt jedoch schwer. In beiden Fällen wird gefordert, dass das Umwelt-/ Green-Controlling nicht punktuell, sondern als Querschnittsthema flächendeckend über alle Bereiche des Unternehmens angewendet wird. [14] Das Energie-Controlling ist wiederum ein Teilbereich des Umwelt-Controllings. Es soll im Rahmen des betrieblichen Energiemanagements zur effizienteren Nutzung von Energie beitragen. [54] Auf Basis eines Energieinformationssystems sollen Planungs-, Koordinations-, Informations-, Kontroll- und Beratungsaufgaben wahrgenommen werden. [55; 56]

Zur Integration von Ergebnissen des Umwelt-Controllings in die Unternehmenssteuerung wird erneut die BSC aufgeworfen. Diese eignet sich als Vehikel zur Visualisierung relevanter Kennzahlen analog zu den bereits implementierten Feldern. Derart erweitert wird die BSC zur „Sustainable Balanced Scorecard“ (SBS oder SBSC). [57; 58] Es wird zwischen einer funktional und einer systemisch angepassten BSC unterschieden (siehe Abbildung 8).

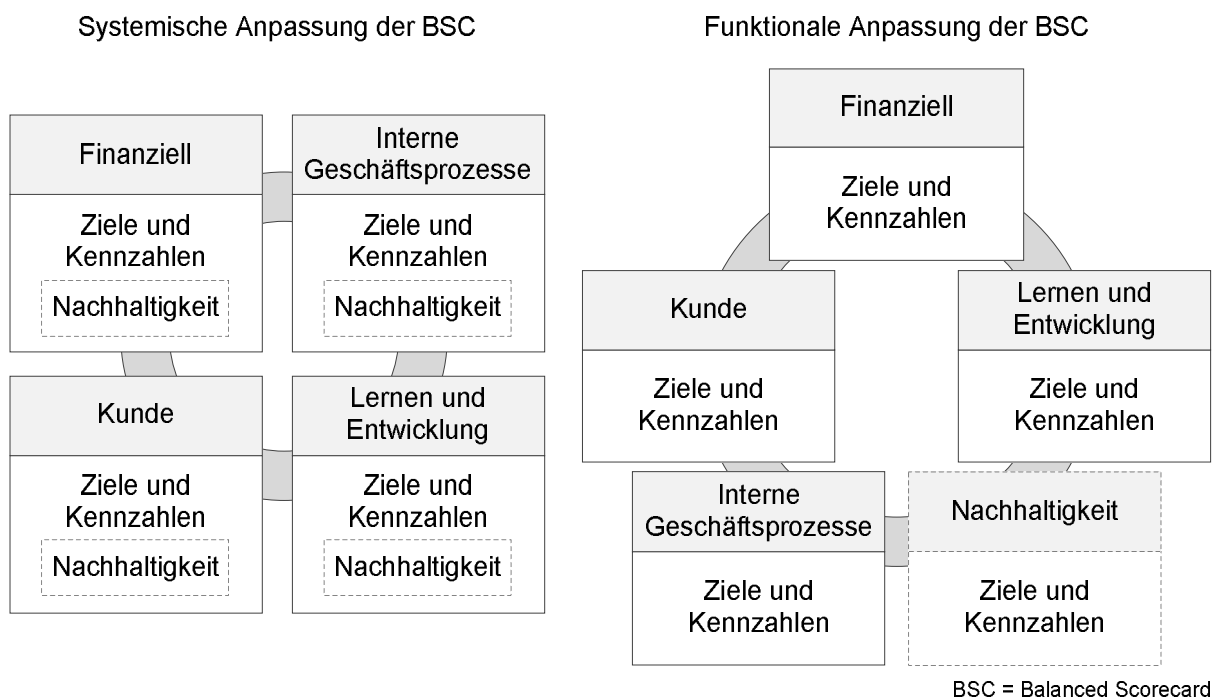


Abbildung 8: Erweiterungsmöglichkeiten der Balanced Scorecard (BSC)

Spannend (und ungeklärt) ist die Frage, wie diese Integration ausgestaltet werden kann, ohne dass die BSC überfrachtet und entsprechend schwer handhabbar wird. Die funktional angepasste BSC erweitert die vier klassischen Felder um die Nachhaltigkeitsperspektive. In der Praxis wäre eine solche Erweiterung leicht umsetzbar. Gleichzeitig betont die exponierte Stellung der Nachhaltigkeit deren

Relevanz. Die systemisch angepasste Perspektive integriert die Nachhaltigkeitskennwerte in die vier klassischen Felder. Vorteilhaft ist, dass die bestehende Struktur der BSC erhalten bleibt und die Nachhaltigkeitsaspekte mit ihren potentiellen Wechselwirkungen – und nicht isoliert – erfasst werden können. [59]

### **2.1.3 Die Kostenrechnung im Rahmen des Controllings – Überblick und Darstellung ausgewählter Instrumente**

Die Kostenrechnung ist ein wichtiges Instrument des Controllings. Sie wird im Folgenden zunächst vorgestellt, um im Anschluss die für das weitere Verständnis relevanten Verfahren zu beschreiben.

#### **Kostenrechnung als Instrument des Controllings**

Die Kostenrechnung dient als Informationsversorgungssystem des Controllings. Sie ist als Recheninstrument nicht verpflichtend und somit frei von externen Gestaltungsvorschriften, greift aber auf Aufzeichnungen der Finanzbuchhaltung zu. Sie unterstützt bei kurzfristigen, operativen Planungsproblemen und geht von gegebenen Kapazitäten der Produktionsfaktoren aus. [23]

Die Kernaufgabe der Kostenrechnung liegt in der wert- und mengenmäßigen Quantifizierung der Prozesse im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung. Die Kostenrechnung ermittelt, prognostiziert und kontrolliert also den Güterverbrauch und die Gütererstellung und bewertet somit den Betriebserfolg und dessen Wirtschaftlichkeit. Dabei kann zwischen der Unterstützung in der fortlaufenden und in der fallweisen Abbildung von Sachverhalten unterschieden werden. Im Gegensatz zur Finanzbuchhaltung ist die Kostenrechnung als Entscheidungsrechnung zukunftsorientiert und lässt sachfremde und außerordentliche Ereignisse außer Acht. [27]

Die Kosten einer Unternehmung können einer Leistung (z.B. einem Produkt) entweder direkt zugeordnet werden (Einzelkosten) oder es sind Kosten, die durch mehrere Leistungen verursacht werden und entsprechend nicht unmittelbar zuordenbar sind (Gemeinkosten). Gleichzeitig gibt es Kosten, die direkt von der Menge der Leistungserstellung abhängen (variable Kosten) und solche, die unabhängig von der Leistungserstellung anfallen (fixe Kosten). Grundsätzlich muss die Kostenrechnung also zunächst klären, welche (Kostenartenrechnung), wo (Kostenstellenrechnung) und wofür (Kostenträgerrechnung) Kosten im Unternehmen anfallen. [60]

#### **Die Zuschlagskalkulation als wichtiges Verfahren der Kostenrechnung**

Das Problem bei der Zuordnung der betrieblichen Kosten auf Leistungen (Kostenträger) liegt bei der Zuordnung der Gemeinkosten sowie im Umgang mit fixen Kosten. [61; 62] Für diese Problemstellung wurden Kostenrechnungssysteme entwickelt. In Tabelle 2 sind verschiedene Produktkalkulationsarten in Abhängigkeit

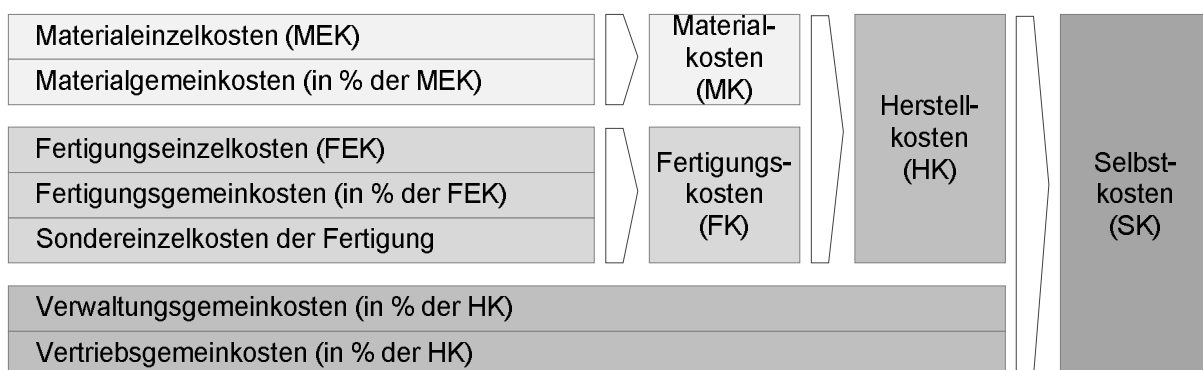
von den zugrundeliegenden Fertigungsverfahren aufgeführt (in Anlehnung an [63; 64; 65]).

**Tabelle 2:** Kalkulationsarten der Kosten- und Leistungsrechnung in Abhängigkeit von Fertigungsverfahren

Produktvielfalt	Fertigungsverfahren	Kalkulationsart	Variationen
Einprodukt-Unternehmen	Massenfertigung	Divisionskalkulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstufig</li> <li>• Mehrstufig</li> </ul>
Mehrprodukt-Unternehmen	Sortenfertigung	Äquivalenzziffernrechnung	-
	Serienfertigung	Zuschlagskalkulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Summarisch</li> <li>• Differenziert (ggf. mit Maschinenstundensatzrechnung)</li> </ul>
	Einzelfertigung		
	Kuppelproduktion	Kuppelkalkulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restwert</li> <li>• Verteilung</li> </ul>

Die in Industriebetrieben am weitesten verbreitete Kalkulationsart ist die Zuschlagskalkulation [63]. Auch aufgrund ihrer Bedeutung im weiteren Verlauf der Arbeit sei daher im Folgenden die (differenzierte) Zuschlagskalkulation erläutert.

Die Zuschlagskalkulation ist eine Kostenträgerstückrechnung aus der Kategorie der Vollkostenrechnung und wird zur Kalkulation von Produkten verwendet. Betriebliche Besonderheiten werden insbesondere bei der differenzierten Zuschlagskalkulation berücksichtigt. Kernelement der Zuschlagskalkulation ist, dass Gemeinkosten unter Verwendung von Zuschlagssätzen verrechnet werden. Abbildung 9 stellt das Prinzip der Zuschlagskalkulation schematisch dar.



**Abbildung 9:** Schematische Darstellung der Zuschlagskalkulation (vgl. [63; 65])

Material- und Fertigungseinzelkosten werden mit jeweiligen Gemeinkostenzuschlagssätzen beaufschlagt und unter Berücksichtigung etwaiger Sondereinzelkosten zu Material- bzw. Fertigungskosten aufsummiert. Die Summe dieser beiden

Kostenpositionen (als Herstellkosten bezeichnet) werden mit Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkostensätzen beaufschlagt und ergeben insgesamt die Selbstkosten eines Produkts. [63; 65]

Die Zuschlagskalkulation ist ein plausibles und ein in den Grundzügen leicht anzuwendendes Kalkulationsverfahren. Die Ergebnisse können durch tiefergehende Differenzierungen verfeinert werden. Sie offenbart allerdings Schwächen bei hohen Gemeinkostenanteilen – sowohl in direkten als auch in indirekten Bereichen. Bei hohen Gemeinkostensätzen wirken sich kleine Ungenauigkeiten in der Bezugsbasis (z.B. Material- oder Fertigungseinzelkosten) stark aus. Großserien werden zudem überproportional belastet, wohingegen kostenverursachende Kleinserien subventioniert werden. [66]

### Die Prozesskostenrechnung zur Schaffung von Transparenz bei Gemeinkosten

Diesen Schwächen kann durch eine Prozesskostenrechnung begegnet werden. Sie hat zum Ziel, die indirekten Leistungsbereiche eines Unternehmens, welche für große Gemeinkostenblöcke verantwortlich sind, den Leistungen des Unternehmens möglichst verursachungsgerecht zuzuordnen. Dies wird durch Unterteilung der Unternehmensaktivitäten in einzelne Prozesse und Zuordnung von Treibern für die Kosten dieser Prozesse erreicht. [67] Abbildung 10 stellt den Übergang von Zuschlagskalkulation zur Prozesskostenrechnung dar.

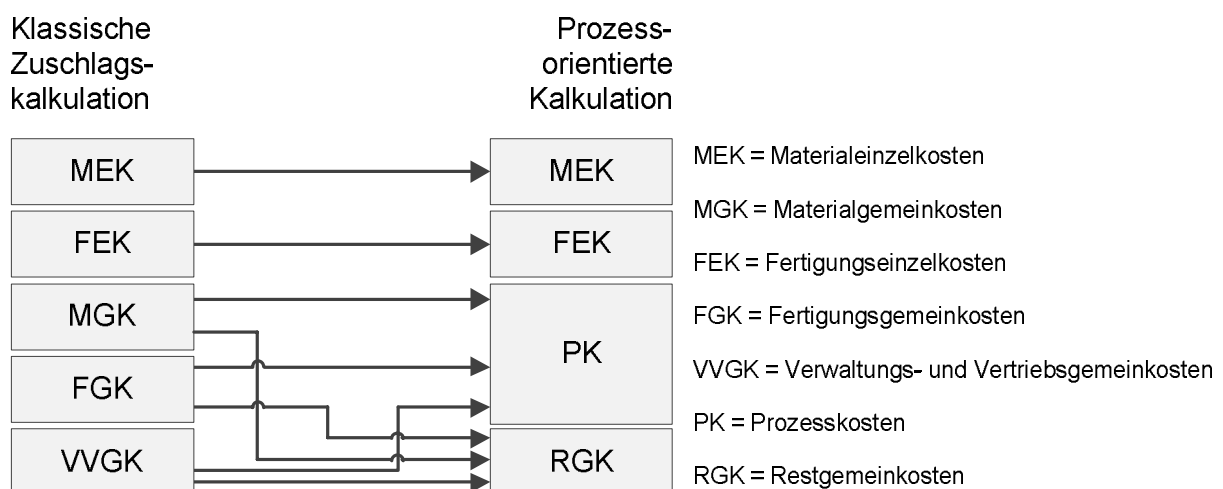


Abbildung 10: Gegenüberstellung von Zuschlagskalkulation und Prozesskostenrechnung (vgl. [63])

Es ist ersichtlich, dass Einzelkosten identisch gehandhabt werden. Gemeinkosten werden jedoch in Abhängigkeit der zugrundeliegenden kostentreibenden Prozesse allokiert. Kleinere Gemeinkostenpositionen, bei denen der Aufwand der Datenermittlung den Erkenntnisgewinn nicht rechtfertigen würde, werden in Restgemeinkosten zusammengefasst und verteilt. [63]

## **2.2 Umwelt-Controlling-Instrumente und Energiemanagementsysteme**

Zur Erfassung interner Kosten und Erfolge umweltschutzbezogener Maßnahmen hat sich im Rahmen des (Umwelt-)Controllings ein breites Instrumentarium für die jeweiligen strategischen/ operativen bzw. regelmäßigen/ unregelmäßigen Fragestellungen entwickelt. [68; 69] Diese werden im Folgenden erläutert.

Dabei wird mit der Ökobilanz zunächst eine vor Umweltgesichtspunkten umfassende Methodik zur Produktbewertung beschrieben. Im Anschluss folgen Instrumente zur Lebenszyklusbetrachtung mit Fokus auf Energie- und Treibhausgasemission auf Produktebene. Schließlich wird ein allgemeiner Überblick über Managementsysteme im Bereich von Umwelt und Energie gegeben.

### **2.2.1 Instrumente der Umweltbetrachtung auf Unternehmensebene**

Die nachfolgenden Instrumente dienen der Erfassung von Umwelt- bzw. Energieeffekten auf Unternehmensebene.

#### **Energie- und Stoffbilanzen durch Ökobilanzierung**

Als Datengrundlage für das Umwelt-Controlling haben sich Energie-/ Stoffbilanzen etabliert. [70; 71] Diese vergleichen Systemeingangs- und Systemausgangsgrößen eines festgelegten Zeitraums in einem definierten System. Beziehen sich die Systemgrenzen auf ein bestimmtes Produkt oder eine Dienstleistung, spricht man von einer Ökobilanz. Beziehen sie sich auf ein Unternehmen, wird von einer Betriebsbilanz (in ökologischem Sinne) gesprochen. [72]

Die Ökobilanz (auch „Lebenszyklusanalyse“ oder Englisch „Life Cycle Assessment“ – LCA) ist ein methodischer Ansatz, welcher die mit einem Produkt verbundenen Einflüsse auf die Umwelt über den gesamten Produktlebenszyklus (d.h. Erstellung, Nutzung, Entsorgung) hinweg betrachtet. [12] Die Ökobilanz dient als Entscheidungshilfe zwischen zwei oder mehreren alternativen Problemlösungsvarianten (Güter oder Dienstleistungen) nach dem Kriterium der Umweltwirkung. Durch die ganzheitliche Betrachtung wird verhindert, dass Umweltbelastungen bei Systemänderungen lediglich verschoben und nicht vermieden werden. Um die Methode nicht zu überfrachten, fokussiert sich die Ökobilanz dabei lediglich auf ökologische Aspekte. [73] Das Ergebnis der Bilanzierung ist abhängig von der Festlegung der zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen. Werden diese zu eng definiert, bleibt die Verschiebung der Umweltauswirkung auf einen systemexternen Punkt möglich und die Ökobilanz verfehlt ihren Zweck. Werden die Systemgrenzen zu weit gefasst, wird die Erstellung der Ökobilanz schnell zu komplex, um in angemessenem zeitlichem Rahmen vergleichbare Alternativen zu ermitteln. [74]

Neben dem Komplexitätsproblem besteht noch ein Bewertungsproblem, da unterschiedliche Umwelteinflüsse unterschiedliche ökologische Auswirkungen



haben. [75] Eine noch grundlegendere Problematik der Ökobilanzierung liegt in der separierten Betrachtung einzelner Produkte oder Dienstleistungen. Die sich möglicherweise gegenseitig bedingenden Einflussfaktoren der Produktionsprozesse eines Multiprodukt-Unternehmens mit Kuppelproduktion werden auf der Suche nach einem ökologischen Optimum nicht betrachtet.

### **Stoffstromnetze**

Die Verwendung von Stoffstromnetzen vermeidet diese Problematik. Die Abläufe in einem (produzierenden) Unternehmen werden als ein umfassendes System aus Stoff- und Energieströmen behandelt, sodass Teiloptimierungen eines Bereiches zu Lasten anderer Bereiche vermieden werden. Hierzu werden zunächst die Stoff- und Energieströme eines Wertschöpfungsverbundes in festgelegten Bilanzgrenzen modelliert. Die Betrachtung erfolgt dabei periodenbezogen. Die modellierten Stoffströme werden anschließend, soweit möglich, verursachungsgerecht den Produkten und Dienstleistungen zugeordnet, um so die spezifischen Umweltwirkungen evaluieren zu können. [76]

Der Aufwand bei der Erstellung der Stoffstromnetze sowie deren anschließender Optimierung ist allerdings recht hoch. [77] Ob im betrieblichen Alltag dieser Aufwand den Nutzen rechtfertigt, ist fraglich.

### **Flusskostenrechnung und umweltbezogene Prozesskostenrechnung**

Durch die alleinige Verrechnung von Umweltschutzkosten können häufig keine Einsparpotenziale identifiziert werden. Daher werden in der Flusskostenrechnung Stoffströme mengenmäßig erfasst und zusätzlich monetär bewertet. Auch die Flusskostenrechnung vermeidet somit eine Teilbereichsoptimierung und strebt eine Optimierung der gesamten Unternehmung an. Die Kostentransparenz wird erhöht, sodass die Auswirkungen von Umweltschutzmaßnahmen direkter sichtbar werden. [78]

Die Flusskostenrechnung führt zu folgenden Möglichkeiten (vgl. [79]):

- Aufdecken von Potenzialen zur Kostensenkung, indem einzelne Prozesse in den Nebenrechnungen zur Bestimmung von Flusskosten detailliert betrachtet werden.
- Aufdecken von Verbesserungsmöglichkeiten in der Kostenrechnung, da vorhandenes Datenmaterial und zugrundeliegende Rechnungen im Rahmen der Flusskostenrechnung auf Plausibilität überprüft werden. Darüber hinaus offenbart die Flusskostenrechnung, wenn Kosten für Abfälle (etwa Verpackungen) in den Vorgängen des Rechnungswesens nicht ausreichend dargestellt sind.

- Unterstützung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, da durch die Flusskostenrechnung die Auswirkungen umweltrelevanter Stoffe transparent dargestellt werden.

In der umweltbezogenen Prozesskostenrechnung werden die indirekt anfallenden Kosten für Umweltschutzmaßnahmen der Haupt- und Nebenprozesse eines Unternehmens durch entsprechende Kostentreiber bewertet. Wie bei der ursprünglichen Prozesskostenrechnung soll damit eine verursachungsgerechtere Zuordnung der Gemeinkosten auf die Kostenträger erreicht werden. [69]

### **Umweltzielkostenrechnung**

Die Umweltzielkostenrechnung verfolgt eine Verbindung von Umweltmanagement und konventioneller Zielkostenrechnung. Die zulässigen Umweltauswirkungen eines Produkts über den kompletten Produktlebenszyklus hinweg (im Sinne einer Ökobilanz) sollen im Vorfeld definiert werden. Bei der Entwicklung eines Produkts soll auf diese Vorgabe geachtet werden, auch mit Blick auf die gesamte Wertschöpfungskette. [80] Die Betrachtung aller umweltrelevanten Aspekte ist gerade mit Blick auf unternehmensexterne Faktoren sehr komplex. Eingegrenzt auf den Faktor Energie entsteht eine Energie-Zielkostenrechnung, die in erster Näherung handhabbar erscheint, je nach Detaillierungsgrad aber ebenfalls sehr komplex werden kann. [81]

### **Energie in der Kostenrechnung**

In einer Bestandsaufnahme wurden Energiekosten im Rahmen der Kostenrechnung betrachtet [82]. Darin wurde vorgeschlagen, die Energiekosten in das Schema aus Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung einzuordnen. Dieser sinnvolle Gedanke betrachtet mit den Energiekosten jedoch lediglich die Wirkung der Energieverbräuche, nicht deren Ursache. Im Sinne des Nachhaltigkeitsgedankens ist diese Betrachtungsweise nicht zielführend und bspw. für den Endkunden unerheblich. Zudem werden nur unternehmensinterne Kosten betrachtet, eine unternehmensübergreifende Beleuchtung der gesamten Wertschöpfungskette bleibt aus. Schließlich wird auch kein Vorschlag zur Lösung der Problematik bei der Allokation von Gemeinenergieverbräuchen auf Kostenträger gegeben.

### **2.2.2 Instrumente zur umweltbezogenen Lebenszyklusbetrachtung auf Produktebene**

Im Folgenden werden Instrumente beschrieben, welche den Einfluss eines Produkts mit Fokus auf Energie- bzw. Treibhausgasemissionen während dessen gesamten Produktlebenszyklus betrachtet.

#### **Kumulierter Energieaufwand (KEA)**

Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) ist ein Wert, welcher die primärenergetisch bewerteten Energieverbräuche eines Produkts während dessen Herstellung,

Nutzung und Beseitigung angibt. Abbildung 11 stellt das Vorgehen zur Bestimmung des KEA in Anlehnung an [9] dar.

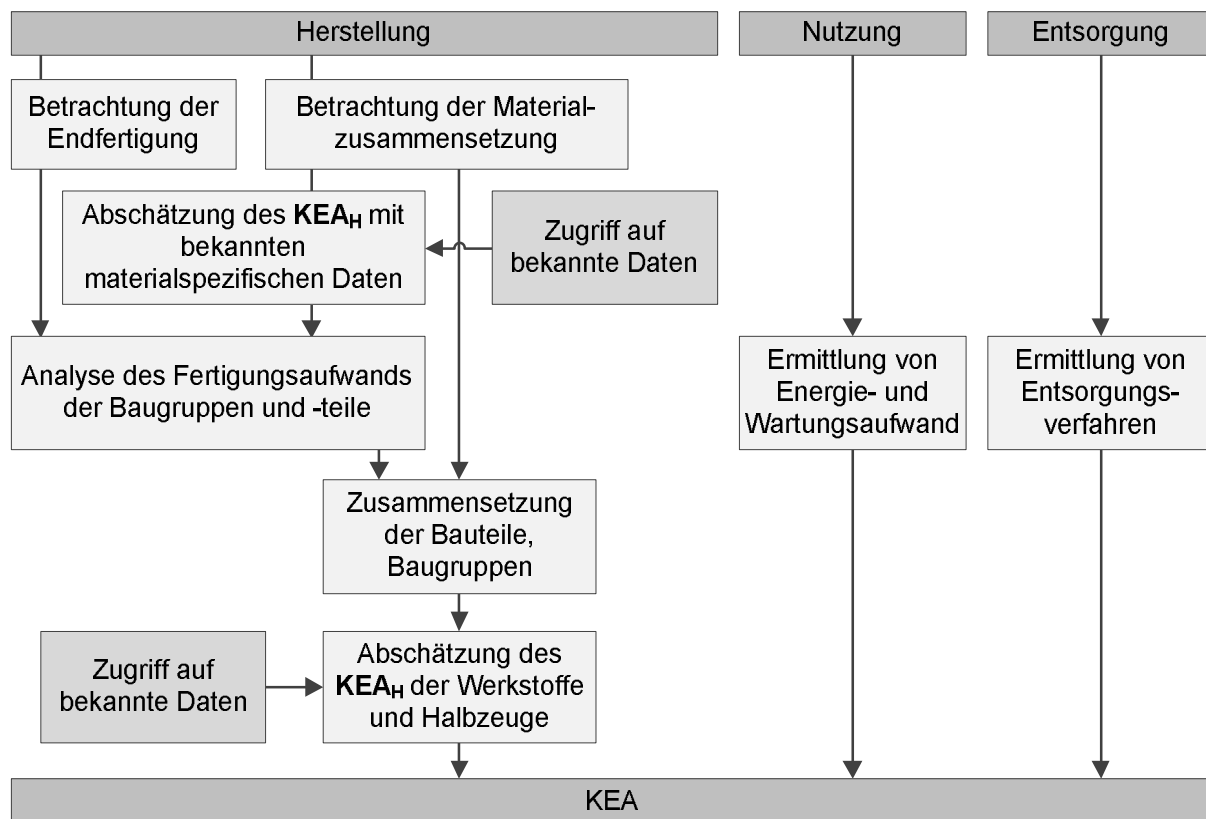


Abbildung 11: Energetische Analyse des Kumulierten Energieaufwands KEA (in Anlehnung an [9])

Der KEA wird vornehmlich zur energetischen Grobbewertung eines Produkts ermittelt und dient häufig als Basis für Ökobilanzen. [9; 83] Es wird ersichtlich, dass insbesondere der Summand  $KEA_H$ , welcher den Herstellprozess berücksichtigt, mittels voranalysierten Datensätzen ermittelt wird und keine unternehmensspezifischen Gegebenheiten berücksichtigt.

### Carbon Accounting und Product Carbon Footprint (PCF)

Das Carbon Accounting ist im Zuge der Nachhaltigkeitsentwicklung ein vieldiskutiertes Thema. Sind Unternehmen vom Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) betroffen, ist die Auseinandersetzung mit Treibhausgas(THG)-Emissionen verpflichtend – wenngleich sich die Verpflichtung dann auf einzelne technische Anlagen beschränkt. Ist das Thema durch Stakeholder motiviert, ist erneut eine ganzheitliche Betrachtung notwendig. Im Kern werden die Treibhausgasemissionen eines Betrachtungsobjekts in einer einzelnen Maßzahl zusammengefasst. Diese Maßzahl wird in  $CO_2$ -Äquivalenten beziffert. Es müssen also alle Treibhausgase (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas etc.) umgerechnet werden. Zusätzlich müssen

die Verbrauchsmengen relevanter Energiearten (z.B. Gas, Öl, elektrischer Strom) mit Emissionsfaktoren multipliziert werden. Die Bilanzgrenzen des Carbon Accounting haben dabei fundamentalen Einfluss auf das Ergebnis. Wird das Carbon Accounting auf eine Unternehmung bezogen, spricht man vom Carbon Footprint (bzw. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck). In Anbetracht der Tatsache, dass ein signifikanter Anteil der THG-Emissionen durch Vorleistungen für das Unternehmen anfällt, ist die Angabe eines Unternehmens-Carbon Footprints sehr fehleranfällig. Somit ist auch die Aussagekraft des Carbon Footprints als Vergleichskennwert zwischen Unternehmen von begrenzter Aussagekraft. [10; 11]

Konzentriert sich das Carbon Accounting auf ein bestimmtes Produkt (oder eine Leistung), wird vom Product Carbon Footprint (PCF) gesprochen. Die Bilanzgrenzen werden hier nicht nur unternehmensübergreifend, d.h. über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg, sondern auch über den gesamten Produktlebenszyklus gezogen. Der PCF bietet sich also in der Theorie als Kenngröße zum Vergleich der Treibhausauswirkung verschiedener Produkte an. Die Probleme sind jedoch analog zu denen aller anderen Methoden zur Bewertung von Umweltauswirkungen. Im Detail unterschiedliche Bilanzgrenzen, variable Emissionseffekte durch alternative Einsatzszenarien eines Produkts oder verschiedene Emissionsfaktoren der in der Wertschöpfung eingesetzten Energiearten seien hier als Beispiele angeführt. Es entsteht ein enormer Bedarf an Daten, die zunächst gesammelt, katalogisiert und vereinheitlicht werden müssen, um anschließend fortlaufend aktualisiert zu werden. [84]

Für die Ermittlung des PCF haben sich verschiedene Standards etabliert. Die wesentlichen sind ISO 14040/44 [12], die „PAS 2050“ [85] sowie das „Green House Gas Protocol“ [86]. Alle Verfahren funktionieren im Wesentlichen wie in Abbildung 12 dargestellt.

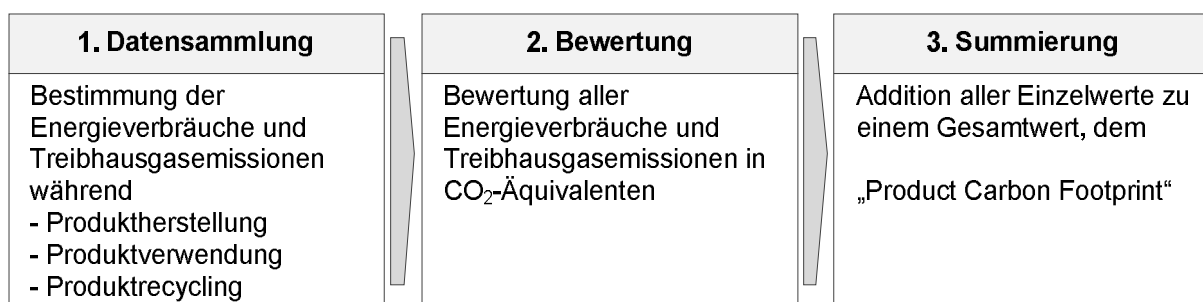


Abbildung 12: Vorgehensweise bei der Bestimmung des Product Carbon Footprints (vgl. [12; 85; 86])

### Life Cycle Engineering (LCE)/ Life Cycle Design (LCD)

Das LCE bzw. das LCD sind zwei Ansätze, um umweltrelevante Einflüsse eines Produkts in dessen Lebenszyklus frühzeitig zu definieren. Gegenstand der

Betrachtung ist dabei Aufbau und Struktur des Produkts, die verwendeten Materialien und Komponenten, die Wirkungsweise des Produkts im Einsatz sowie auch der Herstellprozess (inklusive Transportwege in der Wertschöpfungskette) und die Verwertung des Produkts an dessen Lebenszyklusende. Das LCE ist also eine Methodik zur Beeinflussung, das LCA zur Bewertung der Umweltwirkungen eines Produkts. [87; 88]

### **Life Cycle Costing (LCC)**

Das Life Cycle Costing (LCC) ist ein Konzept zur Bestimmung und Optimierung der Gesamtkosten, die der Besitz und die Verwendung eines Produkts mit sich bringen. Hierzu müssen alle relevanten Kosten identifiziert und quantifiziert werden. Im Gegensatz zum LCE liegt der Fokus nicht rein auf der Produktentwicklung, sondern eher auf der Beschaffung von Produkten oder Leistungen. Zusätzlich wird die Komplexität durch die Fokussierung auf Kosten reduziert, der Anspruch an eine ganzheitliche Umweltwirkungsbetrachtung besteht also nicht. Das LCC ist eng verwandt mit Total Cost of Ownership(TCO)-Modellen. TCO-Modelle berücksichtigen die Gesamtkosten eines Produkts, die für dessen Herstellung, Verwendung und Entsorgung anfallen. Das LCC grenzt sich von TCO-Modellen dadurch ab, dass Transaktionskosten (etwa Lieferantenbewertung) nicht berücksichtigt werden. [89; 90]

### **2.2.3 Verbesserung der Energieeffizienz durch Managementsysteme**

Im folgenden Absatz wird ein Überblick über Managementsysteme im Bereich Umwelt und Energie gegeben.

#### **Bereitstellung von Energie in einer Volkswirtschaft**

Die Bereitstellung von Energie ist zentrale Aufgabe der Energiepolitik. Energie soll sicher und zuverlässig, möglichst preisgünstig und umweltverträglich zur Verfügung gestellt werden. Aus diesen Anforderungen ergeben sich Zielkonflikte, an deren Lösung fortwährend gearbeitet wird. Dies schlägt sich in Gesetzen nieder, die zum langfristigen Erreichen der Energieziele führen sollen. [91] Als Kostentreiber für Industriebetriebe fallen maßgeblich das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) sowie das Stromsteuergesetz (StromStG) ins Gewicht.

Das EEG bezweckt eine signifikante Steigerung des Anteils von Strom aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch. Als Zielwerte werden 40 bis 45 Prozent bis zum Jahr 2025, 55 bis 60 Prozent bis zum Jahr 2035 und mindestens 80 Prozent bis zum Jahr 2050 angegeben. Hierzu muss elektrischer Strom aus erneuerbaren Energien vorrangig abgenommen werden. Zur Absicherung der Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Anlagen wird die Stromeinspeisung kostendeckend vergütet. Das Stromsteuergesetz legt die Steuer auf die Verwendung von elektrischem Strom fest. Es ist dabei unerheblich, ob der Strom dem Versorgungsnetz entnommen oder ob der Strom selbst erzeugt wird.

## Managementsysteme als Voraussetzung für Steuerrückerstattungen

Unternehmen haben die Möglichkeit, Stromsteuerrückerstattungen (§ 10 StromStG) sowie die (teilweise) Befreiung von der EEG-Umlage (§ 40 EEG) zu beantragen, sofern gewisse Schwellwerte des Quotienten aus Energiekosten und Bruttowertschöpfung überschritten sind. Hierzu müssen die Unternehmen jedoch den Einsatz eines geeigneten Managementsystems vorweisen können.

Managementsysteme sind Ordnungsrahmen, mit deren Hilfe strukturiert an der Verbesserung von Prozessen, Leistungen und Ergebnissen gearbeitet werden kann. Die Themenfelder, in denen Managementsysteme zum Einsatz kommen können, sind vielfältig. Wichtige Beispiele für verbreitete Managementsysteme sind das Qualitätsmanagement (z.B. ISO 9001), Arbeitssicherheits- und Arbeitsschutzmanagement (z.B. OHSAS 18001), Umweltmanagement (z.B. ISO 14001), das Energiemanagement (z.B. ISO 50001) oder kombinierte Systeme (z.B. das Eco-Management and Audit Scheme – EMAS).

In manchen Branchen wird der Einsatz bestimmter, zertifizierter Managementsysteme vorausgesetzt, um als Lieferant in Frage zu kommen. Für Umwelt- bzw. Energiemanagementsysteme trifft das jedoch meist (noch) nicht zu. [92] Tabelle 3 stellt relevante Normen in diesem Kontext gegenüber (vgl. auch [93]).

*Tabelle 3: Gegenüberstellung relevanter Normen bezüglich Energie- und Umweltmanagementsystemen*

Titel	DIN EN 16247-1	DIN EN ISO 50001	DIN EN ISO 14001	Eco-Management and Audit Scheme
<b>Wesen</b>	Energieaudit	Energiemanagementsystem	Umweltmanagementsystem	Integriertes Umwelt- und Energiemanagementsystem
<b>Kurzbezeichnung</b>	-	EnMS	UMS	EMAS
<b>Verpflichtend für KMU<sup>1)</sup></b>	Ja	Nein	Nein	Nein
<b>KVP<sup>2)</sup>-Gedanke</b>	Nein	Ja	Ja	Ja
<b>Möglichkeit zur Steuerrückerstattung<sup>3, 4)</sup></b>	Nur für KMU	Ja	Nein	Ja

1) Nach Energiedienstleistungsgesetz EDL-G

2) Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

3) Nach § 10 StromStG und §40 EEG

4) Anlage 2 SpaEfV

## Anforderungen an Energiemanagementsysteme am Beispiel DIN EN ISO 50001

In Abbildung 13 sind die Anforderungen an ein EnMS dargestellt.

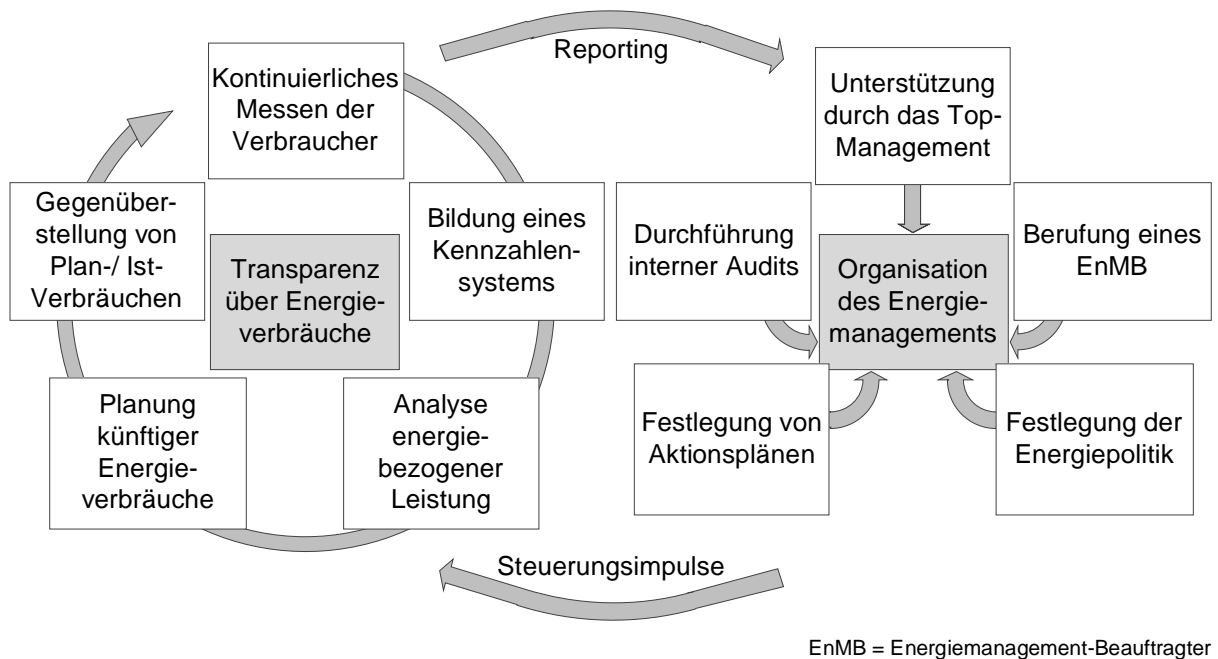


Abbildung 13: Inhaltliche und organisatorische Vorgaben eines EnMS (vgl. [94])

Wie im linken Teil von Abbildung 13 dargestellt, ist das Schaffen von Transparenz über die Energieverbräuche im Unternehmen essenzieller Bestandteil eines EnMS. Es muss klar werden, wo, wann, welche, wie viel und wofür Energie im Unternehmen eingesetzt wird. Auf Grundlage dieser Daten müssen Kennzahlen gebildet und Analysen durchgeführt werden, welche die Bewertung der Abläufe und Prozesse des Unternehmens aus energetischer Sicht ermöglichen. Darauf aufbauend werden strategische Energieziele gesetzt und operative Maßnahmen festgelegt. Die Planung künftiger Verbräuche und das rückblickende Vergleichen der geplanten Werte mit den tatsächlich angefallenen Verbräuchen begleiten und unterstützen den Ablauf.

Diese Vorgänge sind eng verzahnt mit den organisatorischen Anforderungen an das EnMS, dargestellt im rechten Teil von Abbildung 13. Die Unterstützung des Top-Managements ist dabei zwingend Voraussetzung und wird durch die Formulierung einer Energiepolitik sowie durch das zur Verfügung Stellen von personellen und finanziellen Ressourcen sichergestellt. Der zugehörige Bewertungsprozess wird vom Top-Management oder einem vom Management beauftragten Energiemanager begleitet. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse müssen Ziele und Maßnahmen abgeleitet werden, welche als Steuerungsimpulse wieder zurückgegeben werden. Der Energiemanagement-Beauftragte ist federführend verantwortlich für die Einrichtung und Aufrechterhaltung des EnMS und gibt dem Top-Management Auskunft über dessen Leistungsfähigkeit. [95; 96; 97]

## **2.3 IT-Unterstützung im Umfeld des Energie-Controllings**

Ausgehend von der übergeordneten Kategorie „Betriebliche Umweltinformationssysteme“ (BUIS) werden im Folgenden IT-Tools im Umfeld des Energie-Controllings erläutert. Im Anschluss wird auf am Markt verfügbare Module aus dem Bereich der Planung, Analyse und Kontrolle von Energieverbräuchen eingegangen. Schließlich werden Ansätze zur Prognose künftiger Energieverbräuche mit dem Ziel der Verbesserung von Energieeffizienz und Energiekosten beschrieben.

### **2.3.1 Betriebliche Umweltinformationssysteme und Energiedatenmanagementsysteme**

Unter dem Begriff BUIS werden in der Regel EDV-gestützte Systeme verstanden, welche in Unternehmen oder Organisationen die Verarbeitung von umweltrelevanten Informationen unterstützen sollen. Die Systeme können je nach Aufbau mit Daten aus einzelnen oder mehreren Werkzeugen (z.B. Ökobilanz, Stoffstromanalyse etc.) gespeist werden. Die Notwendigkeit von BUIS ergibt sich aus der Komplexität der umweltwirksamen Sachverhalte, die durch Erhebung und Interpretation der entsprechenden Daten entsteht. [98; 99; 100] Die Integration von BUIS in ERP-Systemen wird zwar diskutiert, hat sich aber noch nicht etabliert [101].

Aus dem Spektrum der BUIS haben sich im Teilbereich Energieverbräuche aus der Branche der (Energie-)Messtechnikanbieter bereits zahlreiche Software-Lösungen zur Darstellung und Analyse von Energieverbräuchen entwickelt. Diese werden meist als Energiedatenmanagementsysteme (EDMS) bezeichnet. Durch die Einführung der ISO 16001 bzw. der ISO 50001 sowie der damit verbundenen Möglichkeit zur Stromsteuerbefreiung und Rückerstattung der EEG-Umlage passen Unternehmen ihr Softwareportfolio in Richtung Energiemanagementsoftware an. [102]

Unterschiede bestehen in den Hosting-Konzepten. Die Speicherung und Verwaltung der Energiedaten kann inhouse oder bei einem externen Dienstleister erfolgen. Analog können auch die Auswertung, Interpretation und das Reporting der Energiedaten inhouse oder durch einen externen Dienstleister durchgeführt werden.

Die unternehmensinterne Speicherung der Daten bietet große Sicherheit in Sachen Datenschutz und Datenkontrolle. Die Gewährleistung der Verfügbarkeit obliegt der eigenen Verantwortung, das Unternehmen ist folglich weniger abhängig von externen Unternehmen. Andererseits werden bestehende Kapazitäten der IT-Infrastruktur belastet oder sie müssen erweitert werden, was zu Kapitalbindung an nicht direkt wertschöpfender Stelle führen würde. Eine ähnliche Argumentationslinie ergibt sich für die Auswertungskompetenz. Diese kann inhouse, bspw. durch das Unternehmens-Controlling oder den Energiemanagement-Beauftragten, erfolgen. Dadurch kann auf das firmeninterne Wissen über die eigenen Prozesse zurückgegriffen werden. Die Interpretation der gemessenen Verbräuche und der Kennwerte ist möglicherweise fundierter. Gleichzeitig werden dadurch jedoch auch personelle



Kapazitäten gebunden, auf externes, potenziell branchenübergreifendes und zudem neutrales Wissen kann nicht unmittelbar zugegriffen werden (vgl. auch [94]).

Abbildung 14 fasst die verschiedenen Hosting-Konzepte von Energiemanagement-Software zusammen.

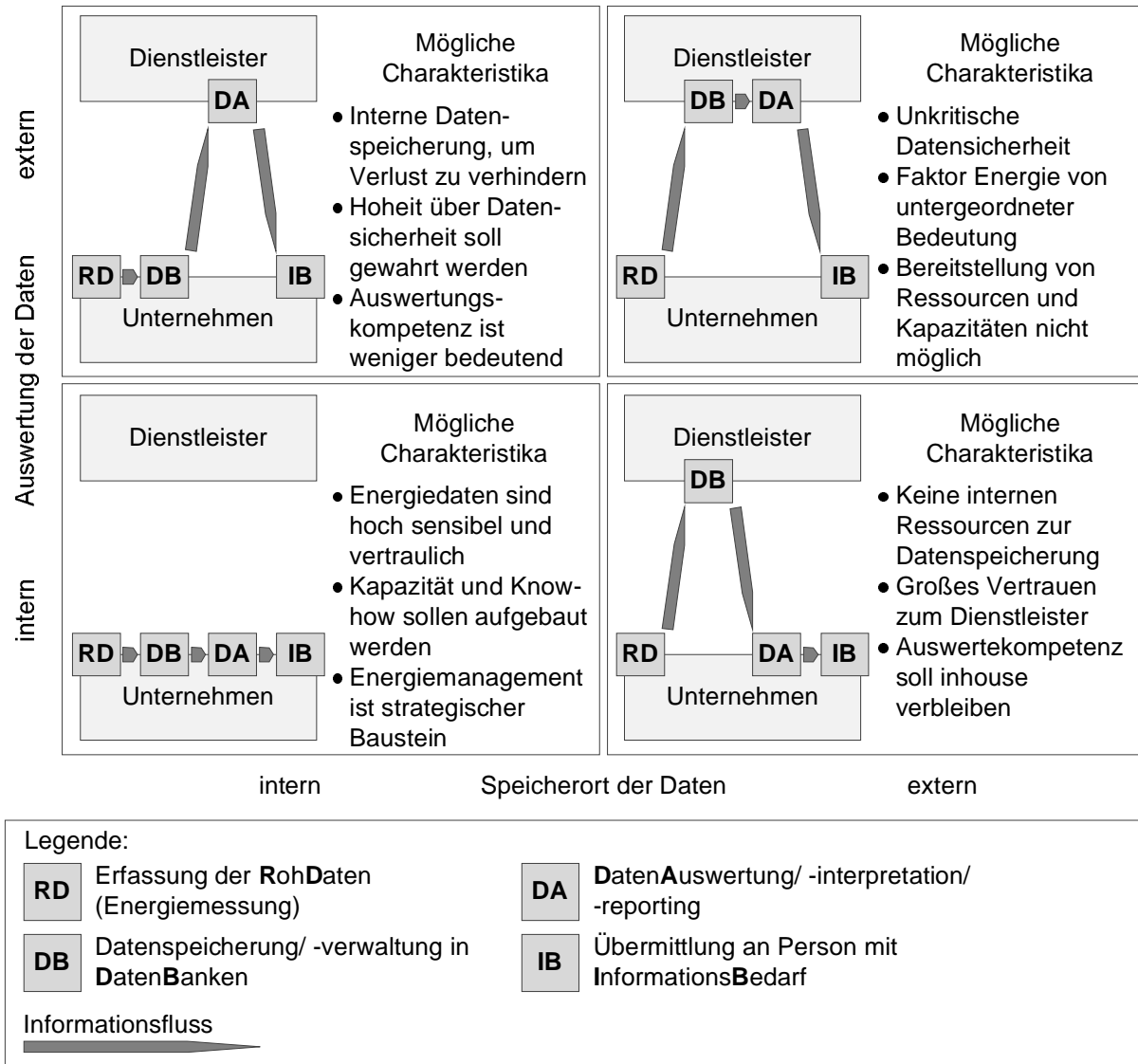


Abbildung 14: Hosting-Konzepte von Energiemanagement-Software (vgl. [94])

### 2.3.2 Funktionsumfänge der am Markt verfügbaren Energiedatenmanagementsysteme

In einer Marktanalyse [103] wurden die Funktionsumfänge der am Markt verfügbaren EDMS hinsichtlich der Werkzeuge zur Analyse von Energieverbräuchen betrachtet. Demnach sind folgende Grundfunktionalitäten bei den meisten Softwareprodukten vorhanden (vgl. auch [94]):

- Grafische Darstellung der Energieverbräuche in Diagrammen zur Analyse der energetischen Situation;
- Bildung individueller Energiekennwerte zum internen oder externen Benchmarking;
- Definition von Grenzwerten als Grundlage für Lastabwurfmanagement oder zur Information des Energiemanagement-Beauftragten;
- Berichterstattung durch Export von Diagrammen zur Unterstützung des Energiereportings;
- Exportfunktionen der Energiedaten in CSV bzw. Microsoft-Excel-Dateiformate.

Witterungsbereinigung, die Verwaltung von Zugriffsrechten je nach Nutzergruppe und Alarmfunktionen sind weitere verfügbare Features. Das Spektrum der zeitlichen Granularität, mit welcher die Daten gespeichert und verarbeitet werden, variiert je nach Anbieter vom Millisekunden- bis zum Viertelstundenbereich.

Zur Beurteilung, inwiefern die am Markt verfügbaren EDMS-Module zur Planung künftiger Energieverbräuche und Gegenüberstellung mit den tatsächlichen Energieverbräuchen (im Sinne einer Kontrolle) bieten, wurden die 208 EDMS, die in der vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) herausgegebenen Liste förderfähiger Energiemanagementsoftware ([104]) aufgeführt sind, auf das Vorhandensein der in Tabelle 4 beschriebenen Funktionalitäten geprüft.

*Tabelle 4: Klassifikation von Modulen für Energiedatenmanagementsysteme*

Funktionalität	
<b>Planung</b>	<b>Stufe 0</b> Keine Möglichkeit zur Planung künftiger Energieverbräuche gegeben.
	<b>Stufe 1</b> Pauschale Planung künftiger Energieverbräuche auf Unternehmensebene.
	<b>Stufe 2</b> Planung künftiger Energieverbräuche auf Basis der erwarteten Produktionsmenge.
	<b>Stufe 3</b> Detaillierte Planungsmöglichkeit künftiger Energieverbräuche auf Basis der erwarteten Produktionsmenge, unterschieden nach Energieeinsatzbereichen und Produkten.
<b>Analyse</b>	Graphische Darstellung von Messwerten, Bildung von Kennzahlen zu Energieverbrauch und spezifischem Energieverbrauch, Möglichkeit zur Analyse und zum Vergleich einzelner Energieverbraucher.
<b>Kontrolle</b>	Möglichkeiten zum Vergleich der geplanten mit den tatsächlichen Energieverbräuchen im Detailgrad der jeweiligen Planungsstufe.

Während mit 187 EDMS fast alle die beschriebenen Analysefunktionalitäten bieten, stellen lediglich fünf EDMS die Möglichkeit zur Planung künftiger Energieverbräuche bereit. Bei diesen wird lediglich Stufe 1 abgebildet. Energieverbräuche können also nur pauschal auf Unternehmensebene geplant werden, nicht anlagen- bzw. produktspezifisch. Eine Kontrollfunktion durch Gegenüberstellung geplanter mit tatsächlichen Energieverbräuchen ist zudem auch hier nicht verfügbar.

Die Bewertung der verfügbaren EDMS im Einzelnen sind im Anhang in Tabelle 27 inklusive Quellennachweis in Tabelle 28 aufgeführt.

### **2.3.3 Prognoseinstrumente künftiger Energieverbräuche zur Verbesserung von Energieeffizienz und Energiekosten**

Im folgenden Abschnitt werden Ansätze zur Vorhersage künftiger Energieverbräuche erläutert. Dabei wird zwischen Verfahren zur Energieprognose auf Anlagenebene und auf Unternehmensebene unter Berücksichtigung der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) unterschieden. Die Vorhersage künftiger Energieverbräuche kann bei der Planung neuer Fabriken [105], aber auch beim Einkauf von Energie vom Energieversorgungsunternehmen eingesetzt werden, wie zum Schluss des Absatzes beschrieben wird.

#### **Energieplanung mittels Methods-Energy Measurement**

Das Konzept des Methods-Energy Measurement (MEM) kann zur Planung künftiger Verbräuche angewendet werden. Dieses ist an das MTM-Verfahren (Methods-Time Measurement) angelehnt. Als zugrundeliegendes Basiselement  $\varepsilon$  wird analog zur Time Measurement Unit (TMU) des MTM die Leistung in Watt verwendet. Unterschiedliche Betriebszustände (zum Beispiel Standby oder arbeitende Maschine) werden durch die Multiplikation eines Faktors  $\psi$  mit der Dauer dieses Betriebszustandes  $t_\psi$  berücksichtigt. Zusätzlich zu den Kernprozessen werden auch die Overheadprozesse durch einen Overheadfaktor  $\lambda$  einbezogen. Um die Werte der Basiselemente  $\varepsilon_\psi$  je Betriebszustand  $\psi$  zu bestimmen, können Messungen, Simulationen oder statistische Daten herangezogen werden. [106; 107; 108]

Die Planung künftiger Energieverbräuche kann somit durch Konfiguration bzw. Modellierung der Produktionsprozesse und anschließender Addition der MEM-Elemente erfolgen.

#### **Einbindung von Energiebausteinen in Materialflusssimulationsprogramme**

Durch Einbindung von Energieverbräuchen in das Produktions- und Materialflusssimulationsprogramm Plant Simulation können ebenfalls Planwerte für den künftigen Energieverbrauch gewonnen werden. Der hohe Automatisierungsgrad der Methode vermeidet dabei Modellierungsaufwände bei der Abbildung der Energiedaten.

Zunächst wird der Prozess eines realen Systems bei gleichzeitiger Messung der realen Energieverbräuche durchgeführt. Anschließend müssen die Daten, unterstützt

durch Software, aufbereitet und den Maschinenzuständen des Prozesses zugeordnet werden. Die Energiedaten werden schließlich in Plant Simulation importiert und mit dem Simulationsmodell überlagert. Der Anwender kann nun die Energieverbräuche der Anlage auswerten und verschiedene weitere Abläufe auch aus energetischer Sicht simulieren. Dieser Ansatz wurde sowohl für elektrischen Strom als auch für Wärmeanwendungen umgesetzt. [109; 110; 111]

Aufgrund der höheren Abstraktionsebene können künftige Energieverbräuche sehr gut geplant werden. Zudem können die Simulationsergebnisse für den Aufbau der MEM-Werte verwendet werden.

### **Simulationsgestützte Verbrauchsprognose einzelner Energieabnehmer**

In einem Forschungsansatz wurde ein 6-Achs-Knickarmroboter mit einem Modelica-basierten Simulationstool modelliert. Die notwendigen Parameter wurden aus den Roboterspezifikationen entnommen, die Modelica-Bibliothek stellte das Robotermotormodell bereit. Die Simulation des Roboters mit veränderlichen Parametern wie Lastfällen, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofilen ergab potenzielle Energieverbräuche. Messungen am realen System wiesen lediglich geringe Abweichungen zu den simulierten Werten auf (vgl. Abbildung 15). Somit ist es prinzipiell auch denkbar, Werte für die Basiselemente des MEM-Verfahrens zu generieren. [112; 113]

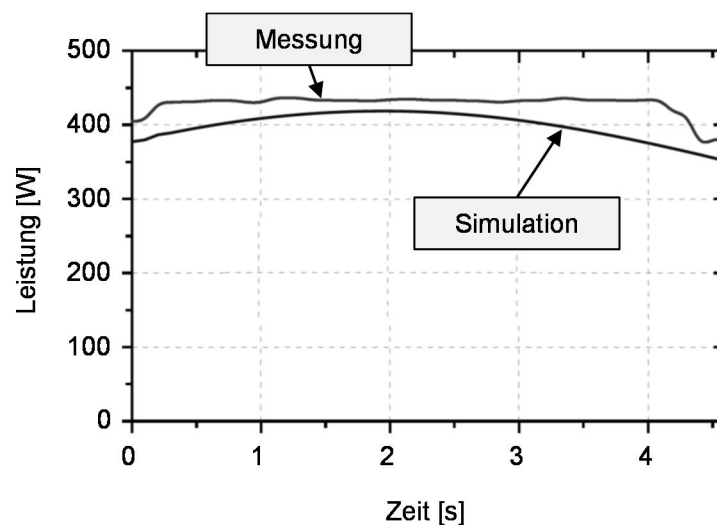


Abbildung 15: Vergleich der simulierten Leistungsaufnahme mit den Messungen am realen System [113]

### **Ansätze zur energieorientierten Produktionsplanung und -steuerung**

Durch Simulation mittels geeigneter Tools kann eine fundierte Planung künftiger Energieverbräuche erfolgen. Gleichzeitig können dabei verschiedene Produktionsszenarien durchgespielt und deren Ergebnisse verglichen werden. Problematisch

hierbei ist die Komplexität in der Abbildung des Energiebedarfs der Produktionsmittel, der je nach Produktionsauftrag und Betriebszustand unterschiedlich ausfallen kann. Voneinander abhängige Produktionsanlagen in Verbindung mit unterschiedlichen Energiearten erschweren die Aufgabe zusätzlich. [114]

Zur direkten Einbeziehung von Energieverbräuchen in die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) bestehen mehrere Ansätze. Für Werkstattfertigungen wurde eine Methodik entwickelt, welche einen geringen Gesamtenergiebedarf neben bspw. hoher Auslastung und Termintreue sowie niedriger Bestände und Durchlaufzeit als neue Zielgröße berücksichtigen soll. Hierzu werden vorliegende Energiebedarfsinformationen als weitere Eingangsgröße in das PPS-System übertragen, sodass neben der Reduktion des Gesamtenergiebedarfs und gleichzeitiger Homogenisierung des Energieverbrauchs aller Anlagen eine Optimierung der Gesamtkosten erreicht werden kann. [115] Die vorgeschlagene Methodik unterliegt jedoch der Einschränkung, dass sie nur bei identischen, parallel arbeitenden Maschinen im Rahmen einer Werkstattfertigung eingesetzt werden kann. Woher die Informationen über die Energieverbräuche entnommen werden, wird ebenfalls offen gelassen.

Mit einem auf Energiekennzahlen basierenden PPS-System (ePPS), gestaltet in einer Microsoft-Excel Umgebung, wurde ein Prototyp entwickelt, welcher bei gegebener Produktionsplanung eine Prognose über den zu erwartenden Energiebedarf verschiedener Energiearten liefert. Der Prototyp konzentriert sich dabei auf Hauptenergieverbraucher der Produktion. [116] Die Umsetzung wird in einem Umfeld nicht verketteter Produktionsprozesse erprobt. Inwiefern sich die Energieverbräuche gegenseitig bedingen, bleibt unklar, ebenso wie die tatsächliche Auswirkung durch die Verwendung der ePPS Methode.

Die simulationstechnische Kopplung von Materialflüssen zusammen mit Strom- und Wärmeverbräuchen ist prototypisch getestet worden. Im Rahmen einer Simulation wurde bspw. gezeigt, dass die Berücksichtigung energetischer Aspekte in der PPS unter bestimmten Voraussetzungen insgesamt zu Einsparungen führen kann. [117] Das Modell unterlag jedoch stark vereinfachenden Annahmen und ein Vergleich am realen System wurde nicht durchgeführt. Zusätzlich ging die Optimierung der Energiekosten deutlich zu Lasten der Logistikkosten, was nicht im Sinne einer ganzheitlichen Optimierung ist.

Darüber hinaus gibt es Forschungsansätze zur Integration gemeiner Energieverbräuche (bspw. Kälte- und Klimatechnik, Belüftung etc.) in die Planung und Auslegung neuer bzw. bei der Anpassung bestehender Fabriken. [118; 119]

### **Anpassung der Produktion an Stromangebot und -preise**

Abbildung 16 und Abbildung 17 stellen auf Grundlage von Daten der europäischen Energiebörse (EEX) die Volatilität der Strompreise und die Abhängigkeit der Strompreise vom Stromangebot exemplarisch dar. Es wird deutlich, dass innerhalb

kurzer Zeiträume hohe Schwankungen der gehandelten Strompreise auftreten können.

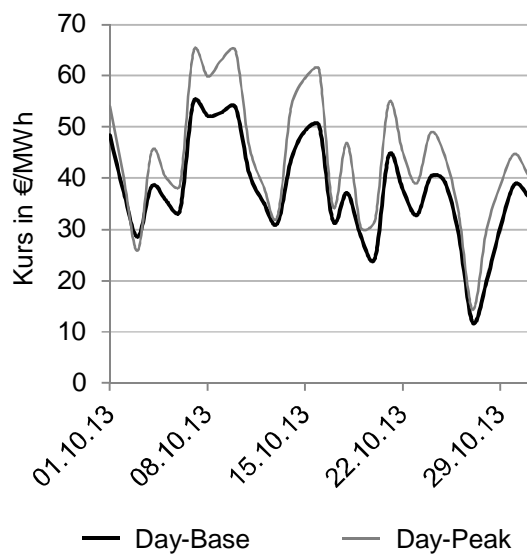


Abbildung 16: Volatilität der Strompreise an der Energiebörse EEX

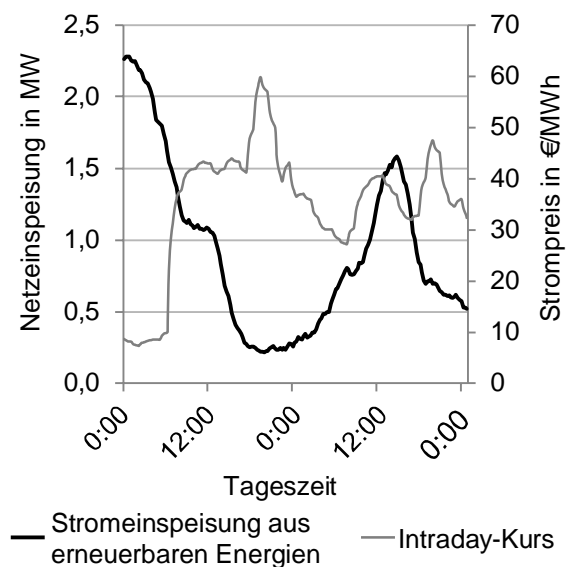


Abbildung 17: Abhängigkeit der Strompreise vom Stromangebot. Daten der EEX vom 1. und 2. Februar 2013

In Übersichtsarbeiten werden in diesem Zusammenhang unter der Überschrift „Energieflexible Produktion“ Ansätze erläutert, mittels derer diese Strompreisvolatilität durch Anpassung der PPS zu einer Senkung der Energiekosten genutzt werden kann. [120] Es wird argumentiert, dass im Zuge der Liberalisierung der Strommärkte jedes Unternehmen bei Erfüllung gewisser Voraussetzungen Strom an der europäischen Energiebörse (EEX) kaufen kann. Folglich kann bei günstigem Timing von niedrigen Strompreisen in Zeiten hoher Stromverfügbarkeit (etwa bei hohem Windaufkommen) profitiert werden. [121]

Um die Vorteile flexibler Stromeinkäufe voll auszunutzen, tendieren manche Forschungsarbeiten dazu, die PPS am verfügbaren Stromangebot, d.h. an den Strompreisen, auszurichten. Entscheidend für den kurzfristigen Einkauf von Strom (bzw. Energie) ist eine möglichst genaue Vorhersage des künftigen Energiebedarfs. Voraussetzung hierzu ist die echtzeitnahe Erfassung von Stromverbräuchen bei gleichzeitigem Abgleich mit dem Stromangebot/ Strompreis. [122; 123]

Als Potentiale zur Ausnutzung der erforderlichen „Energieflexibilität“ werden verschiedene Ansätze diskutiert. Die Verschiebung der Produktion bzw. einzelner, energieintensiver Aufträge auf Zeitpunkte günstiger Strompreise oder die Unterbrechung der gesamten Produktion bieten Potenzial zur Reduktion der Stromkosten. [124] Zudem wird vorgeschlagen, die unterschiedlichen Energiebedarfe einer Anlage je nach Betriebsweise im energieflexiblen Sinne auszunutzen. [125]

Darüber hinaus können Pausenzeiten oder Wartungsintervalle kurzfristig angepasst werden. [126]

Die vielversprechenden Ansätze sind im Detail jedoch schwierig umzusetzen, da sich die PPS wohl nicht so kurzfristig anpassen kann, wie es die Volatilität der Strompreise vorgibt. Eine permanente Ausrichtung der Produktionsbedingungen am Wetter kann nicht das Ziel sein – und ist bspw. bei vollausgelasteter Produktion in Dreischichtbetrieben auch nicht vollumfänglich möglich. [127] Als Lösungsalternative wird die Abfederung durch Stromspeicher vorgeschlagen [128], wobei die Speicherung und etwaige Umwandlung durch unbefriedigende Wirkungsgrade jedoch die Strompreiseffekte aufheben könnten.

## **2.4 Kritische Würdigung und Ableitung des Forschungsbedarfs**

Im Folgenden wird zunächst eine Zusammenfassung und Bewertung des Standes der Technik im Bereich Energie-Controlling gegeben. Darauf aufbauend werden die Forschungsbedarfe aus dem methodischen und dem IT-Bereich abgeleitet.

### **2.4.1 Zusammenfassung und Bewertung des Standes der Technik**

Im folgenden Absatz werden die Instrumente des Energie-Controllings aus methodischer und informationstechnischer Sicht zusammengefasst und bewertet.

#### **Methodische Instrumente des Energie-Controllings**

Das Controlling als Unternehmensorgan mit der Aufgabe zur Beschaffung und Koordination von Informationen ist in der wissenschaftlichen Theorie viel diskutiert und in der unternehmerischen Praxis weit verbreitet. Die Schwerpunkte Zeit, Kosten und Qualität lassen sich in der Literatur als Hauptzielgrößen des Controllings identifizieren [129] (vgl. Abschnitt 2.1).

Durch knapper werdende Ressourcen, steigende Energiepreise oder durch wachsendes Umweltbewusstsein von Gesellschaft und Unternehmen erweitert sich auch das Aufgabenspektrum des Controllings um Nachhaltigkeitsthemen (vgl. Absatz 2.1.2). Diese neuen Aufgaben werden folglich auch verstärkt in der wissenschaftlichen Gemeinschaft diskutiert. Der Verdienst zahlreicher Fachartikel, Beraterbände und Konferenzbeiträge ist insbesondere, dass Manager bzw. Controller für die Notwendigkeit eines Energie- bzw. Nachhaltigkeits-Controllings sensibilisiert werden (siehe insbesondere [14; 15; 130]). Parallel dazu haben sich viele Ansätze zur Bewältigung der sich aus den neuen Aufgaben entstehenden Anforderungen entwickelt.

In Tabelle 5 werden die identifizierten Ansätze aus den Abschnitten 2.2 und 2.3 mit den Anforderungen der Forschungsaufgabe aus Kapitel 1 gespiegelt.

**Tabelle 5:** *Bewertung der Instrumente aus der Literaturanalyse hinsichtlich ihrer Eignung zur Lösung der Forschungsaufgabe*

Instrument	Wichtige Literaturstellen	Eignung zur Lösung der Forschungsaufgabe
Energie- und Stoffbilanzen durch Ökobilanzierung (Absatz 2.2.1)		
Ökobilanz, Life Cycle Assessment (LCA)	[12]	Fokus der Betrachtung liegt nicht auf Energieverbräuchen bzw. THG-Emissionen, sondern auf Umweltauswirkungen aller Art und ist für die Anforderungen zu unscharf. Zudem werden unternehmensindividuelle Begebenheiten aufgrund der Verwendung historischer Werte nicht berücksichtigt.
Instrumente zur umweltbezogenen Lebenszyklusbetrachtung auf Produktebene (Absatz 2.2.2)		
Carbon Footprint/ Product Carbon Footprint (PCF)	[11; 12; 85; 86]	Instrumente zur Bewertung der Energieverbräuche bzw. THG-Emissionen u.a. auch während der Herstellung. Bewertung erfolgt jedoch aufgrund pauschaler, historischer Tabellenwerte, nicht unternehmensindividuell.
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	[9]	
Life Cycle Engineering (LCE)	[87]	Instrumente zur Beeinflussung der Produkteigenschaften im Vorhinein, nicht zu deren Bewertung und Überprüfung.
Life Cycle Costing (LCC)	[89]	
Instrumente der Umweltbetrachtung auf Unternehmensebene (Absatz 2.2.3)		
Stoffstromnetze	[76; 77]	Das Modellierungsinstrument eignet sich zur Beschreibung umweltbezogener Vorgänge in einem Unternehmen. Es kann als Datengrundlage für die Problemstellung dienen, adressiert jedoch nicht die eigentliche Fragestellung.
Umwelt(ziel)kostenrechnung	[43; 80; 81]	Die Fragestellung konzentriert sich auf die unternehmensübergreifende Betrachtung von Energieverbräuchen, nicht auf unternehmensinterne Umwelt- bzw. Energiekosten. Aufgrund des unterschiedlichen Fokus eignen sich die Instrumente entsprechend nicht.
Flusskostenrechnung	[69; 78; 79]	
Energiekostenrechnung	[82]	
Managementsysteme im Bereich Umwelt und Energie (Absatz 2.2.3)		
Energieaudit	DIN EN 16247-1	Das Energieaudit wird zur Identifikation der Hauptenergieverbraucher eines Unternehmens durchgeführt, nicht zur Einführung eines Energie-Controllings.
Energiemanagementsystem	DIN EN ISO 50001	Managementsysteme werden zur kontinuierlichen Verbesserung von umwelt- und energiebezogener Leistung auf Unternehmensebene eingesetzt. Die Bewertung des Energieaufwands bei der Herstellung unter Berücksichtigung der Prozesse von Zulieferern ist weder beschrieben, noch wird sie gefordert.
Umweltmanagementsystem	DIN EN ISO 16001	
Eco-Management and Audit Scheme	EMAS	



Instrument	Wichtige Literaturstellen	Eignung zur Lösung der Forschungsaufgabe
<b>Sonstige Instrumente (Absätze 2.1.2 und 2.3.3)</b>		
Sustainability Balanced Scorecard (SBSC)	[58]	Instrument zur Darstellung von Kennzahlen, nicht zu deren Erfassung.
Umwelt-Controlling, Energie-Controlling, Green-Controlling	[13; 14; 53; 55; 72]	In der Literatur beschriebene Klassen des Controllings, die grundsätzlich die Aufnahme von umwelt- bzw. energiebezogenen Aspekten in das Controllingwesen von Unternehmen fordern. Es ist jedoch keine Methodik beschrieben, die zur Lösung der Fragestellung beiträgt.
Energie in der Produktionsplanung und -steuerung	[115; 116]	Die beschriebenen Instrumente eignen sich teilweise zur Unterstützung von Teilaspekten der Fragestellung (etwa im Bereich der Planung von Energieverbräuchen im Rahmen des Energie-Controllings).
Simulation von Energieverbräuchen auf Produktionsebene	[112; 109; 110; 111; 117; 119]	
Energieflexible Produktion	[123; 124; 125; 126; 128]	

Es wird ersichtlich, dass die Implikationen einer Aufnahme der Zielgröße Energie in das Unternehmens-Controlling noch nicht in ausreichendem Umfang betrachtet worden ist. Im Detail hören bestehende methodische Ansätze bei der Analyse energetischer Prozesse in Unternehmen auf. Andere Fachbeiträge fordern zwar eine Aufnahme von Energie in das Unternehmens-Controlling, beschreiben aber Konzepte zur Umsetzung nicht oder nur oberflächlich. Vielfach wird auf mangelnde Datengrundlage im Bereich der Energieverbräuche verwiesen. In der Folge werden zur Bestimmung produktbezogener Werte (etwa der Kumulierte Energieaufwand KEA oder der Product Carbon Footprint PCF) historische Tabellenwerte herangezogen, die jedoch nicht die unternehmensindividuellen Gegebenheiten berücksichtigen. Dieser Missstand wird im Rahmen der Einführung von Energiemanagementsystemen durch die bedarfsgerechte Installation von Messgeräten in produzierenden Unternehmen aufgehoben.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass es noch keine Methodik gibt, welche die Anforderungen der Forschungsaufgabe ausreichend adressiert.

### **Informationstechnologische Instrumente des Energie-Controllings**

Im Bereich der Softwareunterstützung für EnMS gibt es mit 208 gelisteten EDMS (vgl. [104]) ein breites Spektrum an verfügbaren Tools. Diese haben umfassende Möglichkeiten zur Darstellung und Analyse gemessener Energieverbräuche. Auch der steuernde Eingriff in die Anlagen ist bei einigen EDMS möglich.

Für ein Energie-Controlling sind jedoch auch Möglichkeiten zur Planung künftiger Energieverbräuche und zur anschließenden Gegenüberstellung mit den tatsächlichen Energieverbräuchen notwendig. Für diese Aufgaben gibt es nur wenige Lösungen, welche zudem für den im Controlling erforderlichen Detailgrad nicht ausreichend sind (vgl. auch [94; 131]).

Bestehende Softwarelösungen sind also zur Unterstützung des Energie-Controllings nicht ausreichend.

### **2.4.2 Entwicklung einer Energie-Controlling-Methodik**

Zur Lösung der Forschungsaufgabe ist aus methodischer Sicht eine Energie-Controlling-Methodik zu entwickeln, anhand welcher Unternehmen Energieverbräuche einem Controlling-Prozess unterziehen können. Das Energie-Controlling soll sich entsprechend in folgende Methoden unterteilen:

- **Allokation:** Es ist ein Schema zu entwickeln, anhand dessen die Energieverbräuche produzierender Unternehmen auf einzelne Produkte zugeordnet werden können. Dabei ist die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten. Das heißt insbesondere, dass die Energieverbräuche der Zulieferer ebenfalls berücksichtigt werden müssen, sodass die Auslagerung energieintensiver Prozesse keine nur scheinbar positive Auswirkung auf entsprechende produktbezogene Kennzahlen des Energie-Controllings eines Unternehmens hat.
- **Planung:** Es sind Methoden und Instrumente zu beschreiben, anhand welcher künftige Energieverbräuche im Vorhinein geplant werden können – analog zur Vorkalkulation aus dem Bereich der Kostenrechnung.
- **Analyse:** Im Rahmen der Analyse sollen die anfallenden Verbrauchswerte messtechnisch erfasst, aufbereitet und bereitgestellt werden.
- **Kontrolle:** Unter Verwendung des Allokationsschemas soll die Kontrolle im Sinne einer „Nachkalkulation“ durch Gegenüberstellung der geplanten mit den tatsächlichen Energieverbräuchen möglich werden.
- **Reporting:** Schließlich sollen Möglichkeiten zur internen und externen Kommunikation des Energie-Controllings beschrieben werden.

Die Lösung der Forschungsaufgabe soll die Aufnahme von Energie als vierte Hauptzielgröße in das Unternehmens-Controlling ermöglichen, sodass aus dem „magischen Dreieck“ ein „magisches Tetraeder“ wird (siehe Abbildung 18).

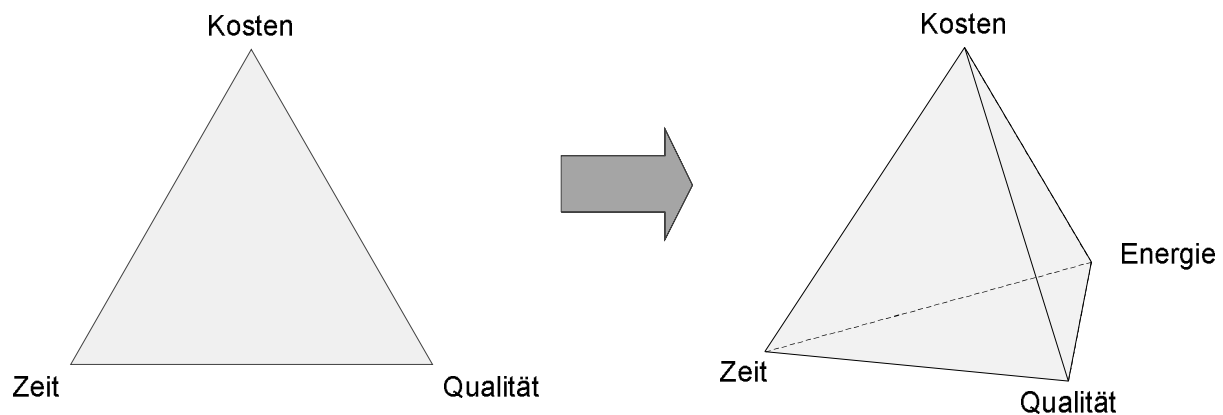


Abbildung 18: Zielgrößenerweiterung des „magischen Dreiecks“ zum „magischen Tetraeder“ [56] (vgl. auch [132])

Analogien zu bereits etablierten Controlling-Instrumenten sind anzustreben, um die Anwendbarkeit der Energie-Controlling-Methodik zu begünstigen.

### 2.4.3 Entwicklung einer Energie-Controlling-Software

Da noch keine passende Softwarelösung zur Unterstützung eines Energie-Controllings existiert, soll ein entsprechendes IT-Tool entwickelt werden.

Im folgenden Absatz werden die Anforderungen an Funktionalitäten abgeleitet, die einerseits die Energie-Controlling-Methodik und andererseits Energiemanagementsysteme unterstützen.

#### Anforderungen aus Sicht des Energie-Controllings

Im Einklang mit den in Absatz 2.4.2 identifizierten Anforderungen an eine Energie-Controlling-Methodik soll die Software folgende Grundmodule bereitstellen:

- **Planung:** Im Planungsmodul sollen die Energieverbräuche zukünftiger Perioden geplant werden. Das Ergebnis der Planung soll mindestens die Ermittlung des Gesamtenergiebedarfs des Unternehmens im folgenden Geschäftsjahr sein. Je feiner dieser Gesamtbedarf in die einzelnen Teilenergiebedarfe untergliedert werden kann, desto besser lassen sich Energieziele formulieren und deren Erreichung rückblickend bewerten. In der feinsten Granularitätsstufe können alle Energieverbräuche der einzelnen Produktionsanlagen auf Produktebene einzeln geplant werden.

- **Analyse:** Im Analysemodul soll es möglich sein, die Energieverbräuche aller Energieverbraucher, die mit Messgeräten ausgestattet sind, grafisch und tabellarisch darzustellen. Zur Identifikation von Energieeinsparpotenzialen und zur Verfolgung der Wirkung von Energiesparmaßnahmen sollen die Energieverbräuche der Anlagen werksintern, werksübergreifend, produktbezogen und im zeitlichen Verlauf dargestellt werden können. Diese Funktionalitäten werden marktseitig bereits angeboten (siehe Absatz 2.3.2). Da eine Energie-Controlling-Software ohne ein Analysemodul jedoch nicht sinnvoll einsatzfähig ist, ist es ebenfalls in die Software einzubinden.
- **Kontrolle:** Im Kontrollmodul sollen geplante Soll- und tatsächliche Ist-Verbräuche gegenübergestellt werden können. Dadurch können Abweichungen von den Verbrauchszielen sichtbar gemacht werden. Durch gleichzeitige Darstellung der geplanten und tatsächlich produzierten Menge wird die Energieproduktivität visualisiert.

### **Anforderungen aus Sicht eines Energiemanagementsystems**

Da das Energie-Controlling im Umfeld von EnMS durchgeführt wird, soll eine Energie-Controlling-Software auch die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem unterstützen. Mit den Modulen zur Planung, Analyse und Kontrolle von Energieverbräuchen sind funktionale Anforderungen bereits abgedeckt (siehe hierzu auch [133; 134; 135]).

In Praxisprojekten hat sich herauskristallisiert, dass Energiemanagementbeauftragte zudem Bedarf an Unterstützung im administrativen und organisatorischen Bereich durch IT-Tools sehen.

Folglich soll die Energie-Controlling-Software die Möglichkeit bieten,

- strategische Ziele zu formulieren;
- diese Ziele durch operative Maßnahmen zu untermauern;
- die Umsetzung der Maßnahmen durch Messwerte zu kontrollieren;
- Verbesserungsvorschläge von Mitarbeitern aufzunehmen und zu koordinieren;
- ein Rechtskataster über energiebezogene Auflagen aktuell zu halten.

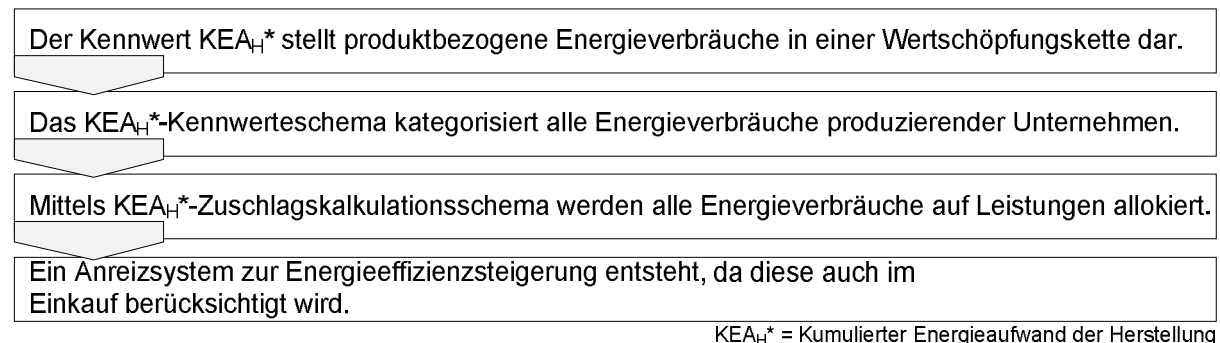
Die ideale Ausgestaltung sieht es vor, per Knopfdruck einen Bericht für die Auditierung von EnMS exportieren zu können. Dieser Bericht soll Aufschluss über die Einsatzfähigkeit des EnMS geben, indem die formulierten Ziele transparent mit den getroffenen Maßnahmen und deren Wirkungsweise gegenübergestellt werden können.

### 3 Methode zur Allokation von Energieverbräuchen auf Produkte entlang einer Wertschöpfungskette

Im Folgenden wird eine Methode vorgestellt, mittels derer Energieverbräuche, die entlang einer Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Produkten anfallen, auf einzelne Produkte allokiert werden können (vgl. hierzu im Weiteren auch [136]). Unter Produkten können dabei auch Leistungen im Allgemeinen verstanden werden. Im Weiteren wird ohne Widerspruch hierzu der Begriff Produkt verwendet.

Im Kern der Betrachtungen steht ein einzelnes Unternehmen, welches im Folgenden als das fokale Unternehmen bezeichnet wird. Dieses Unternehmen agiert im Rahmen einer Wertschöpfungskette, bestehend aus Zulieferern und Kunden.

Anhand dieser allgemeingültigen Situation wird zunächst ein Kennwert  $KEA_H^*$  auf Grundlage des bereits bekannten  $KEA_H$  eingeführt, mittels dessen die in der Wertschöpfungskette anfallenden Energieverbräuche erfasst und kommuniziert werden können. Zu diesem Kennwert wird ein Kennwerteschema entwickelt, welches alle Energieverbraucher produzierender Unternehmen klassifiziert. Durch das zugehörige Allokationsschema wird eine einheitliche Methode zur verursachungsgerechten Zuordnung der Energieverbräuche definiert. Kennwerteschema und Allokationsmethode werden im Anschluss durch die Betrachtung eines exemplarischen Unternehmens angewendet. Abschließend werden Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Allokationsmethode aufgezeigt und skizziert. Abbildung 19 fasst die wesentlichen Aussagen von Kapitel 3 zusammen.



$KEA_H^*$  = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

Abbildung 19: Wesentliche Aussagen von Kapitel 3

#### 3.1 Erfassung von Energieverbräuchen bei der Herstellung von Produkten entlang einer Wertschöpfungskette

Im folgenden Abschnitt wird ein durchgängiges Konzept vorgestellt, mittels welchem die Energieverbräuche, die bei der Herstellung eines Produkts in der gesamten Wertschöpfungskette anfallen, dargestellt werden können. Zunächst wird ein Kennwert zur Zuordnung der anfallenden Energieverbräuche entlang einer

Wertschöpfungskette eingeführt. Im Anschluss wird beschrieben, wie die unternehmensübergreifende Kommunikation und Verknüpfung erfolgt. Schließlich werden die Bilanzgrenzen beschrieben und die Einsatzmöglichkeiten des Kennwertes im Rahmen von Treibhausgasbetrachtungen aufgezeigt.

### **3.1.1 Einführung des Kennwerts $KEA_H^*$ zur durchgehenden Erfassung von Energieverbräuchen in einer Wertschöpfungskette**

Der folgende Absatz motiviert, beschreibt und diskutiert einen neuen Kennwert, anhand welchem die Energieverbräuche in einer Wertschöpfungskette erfasst und Leistungen zugeordnet werden können.

#### **Motivation eines neuen Kennwertes zur Berücksichtigung der Energieverbräuche der Produktion in einer Wertschöpfungskette**

Aus Unternehmenssicht ergeben sich, wie in Absatz 2.1.2 andiskutiert, mehrere Motive zur Einsparung von Energie. Neben der Reduktion von Energiekosten, aus Gründen des Verantwortungsbewusstseins gegenüber Gesellschaft und Umwelt oder zur bloßen Erfüllung der Anforderungen des Energiemanagementsystems ist zu erwarten, dass künftig eine energieeffiziente Produkterzeugung als verkaufsförderndes Alleinstellungsmerkmal verwendet werden kann. [6; 7]

Einsparpotenziale von Energiekosten sind ein guter Motivator zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen. Allerdings werden viele eigentlich rentable Investitionen in die Steigerung von Energieeffizienz nicht umgesetzt, weil die Amortisationszeit nicht den internen Vorgaben der Unternehmen entspricht [137]. Das „grüne“ Verantwortungsbewusstsein von Unternehmen ist oftmals den ökonomischen Zielen untergeordnet [42] und reicht alleine ebenfalls nicht aus, um Energiesparmaßnahmen ausreichend zu motivieren. Die konkrete Umsetzung von Energiesparmaßnahmen zur Erfüllung der Normforderungen des Energiemanagementsystems motiviert einerseits lediglich Unternehmen, die eine entsprechende Zertifizierung haben, andererseits lassen die Auditierungsprozesse zu viel Spielraum, als dass sinnvolle Investitionen aufgrund des Energiemanagementsystems umgesetzt werden würden.

Die energieeffiziente Herstellung von Produkten als Alleinstellungsmerkmal kann vom Unternehmensmarketing nur instrumentalisiert werden, wenn einerseits ein belastbarer Wert über den Energieverbrauch bei der Herstellung eines Produkts ermittelt und dieser andererseits sinnvoll mit den Werten ähnlicher Produkte verglichen werden kann. Mithilfe einer durchgängigen und einheitlichen Methodik zur Bestimmung dieser Werte entlang der Wertschöpfungskette kann diese Vergleichbarkeit hergestellt werden. Forderungen der Kunden oder eine entsprechende Gesetzgebung zur Bekanntgabe der Werte können zur Durchdringung der Methodik führen. Die im Vergleich energieeffizienter hergestellten Produkte sind attraktiver. So entsteht in Ergänzung zu den oben genannten Faktoren ein Anreizsystem, welches die Unternehmen zur Verbesserung ihrer Energiebilanz motiviert.

### Einführung des produktbezogenen Kennwertes $KEA_H^*$ und Abgrenzung vom bereits existierenden Kennwert $KEA_H$

Da sich, wie in Abschnitt 2.4 dargestellt, keiner der bekannten Kennwerte für das unternehmensinterne und -übergreifende Energie-Controlling eignet, wird der produktbezogene Kennwert  $KEA_H^*$  eingeführt (mit der Einheit Kilowattstunde). [136]

Genau wie der klassische  $KEA_H$  stellt der  $KEA_H^*$  alle Energieverbräuche dar, die unternehmensübergreifend zur Herstellung eines Produkts innerhalb einer Wertschöpfungskette aufgewendet wurden. Im Unterschied zu anderen, verwandten Kennwerten (und insbesondere zum  $KEA_H$ ) wird der  $KEA_H^*$  nicht mittels vorbestimmter Tabellen- oder Katalogwerte berechnet. Der  $KEA_H^*$  wird von jedem Unternehmen einer Wertschöpfungskette für das von ihm hergestellte und verkaufte Produkt ermittelt und an seine Kunden weitergegeben. Die Ermittlung erfolgt durch Allokation der tatsächlichen Energieverbräuche eines Unternehmens inklusive der Verbräuche, die bei der Herstellung der Zukaufteile angefallen sind. Im Gegensatz zur Verwendung vorbestimmter Tabellenwerte wird somit die tatsächliche energetische Situation jedes beteiligten Unternehmens der Wertschöpfungskette berücksichtigt. Unter Verwendung der schematischen Strukturdarstellung eines Wertschöpfungsnetzwerks wird in Abbildung 20 die Zusammensetzung des  $KEA_H^*$  verdeutlicht.

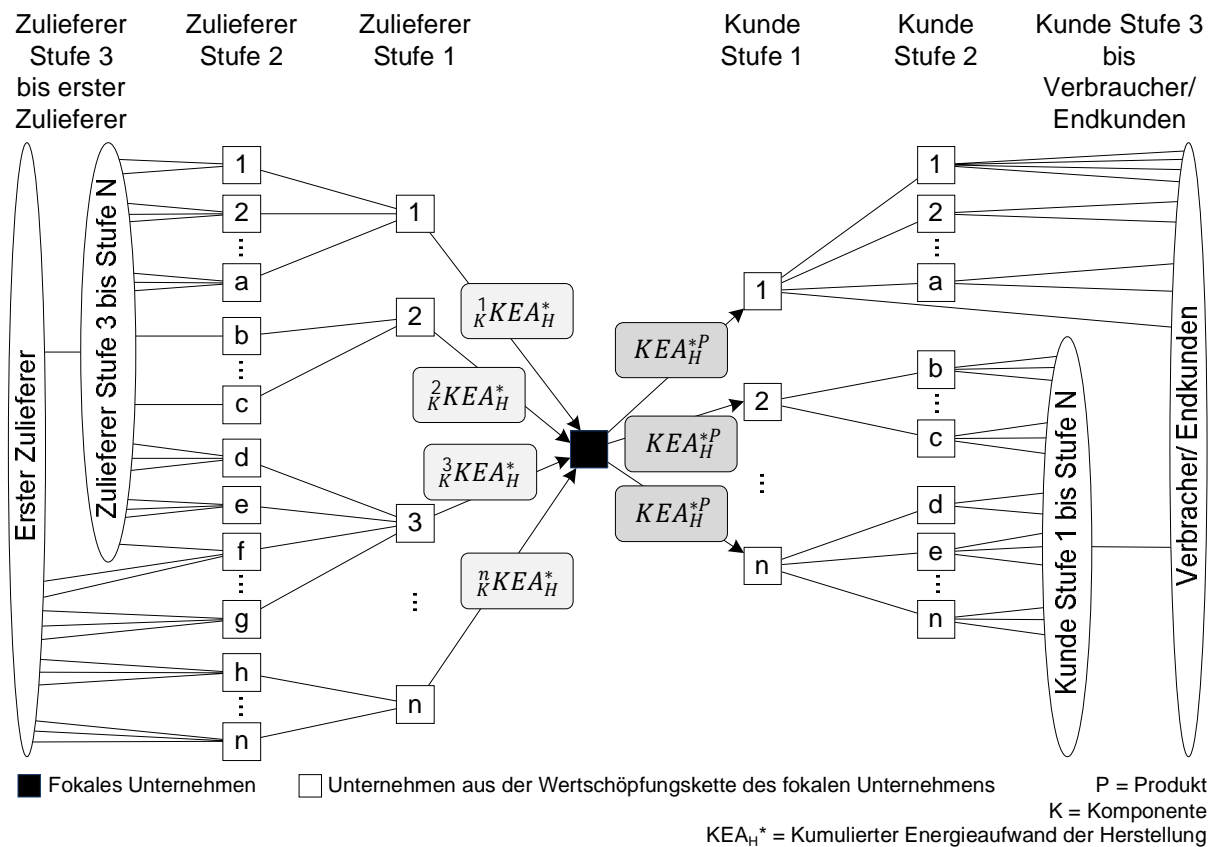


Abbildung 20: Struktur eines Wertschöpfungsnetzwerks (nach [138])

Der  $KEA_H^*$ -Wert eines Produkts P des fokalen Unternehmens ergibt sich mit

$$\sum_{K=1}^Z KEA_H^* \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} Z = \text{Zulieferndes Unternehmen} \\ K = \text{Komponente des Zulieferers} \end{array}$$

aus der Summe aller für dieses Produkt notwendigen  $KEA_H^*$ -Werte der einzelnen Komponenten der direkten Zulieferer zuzüglich der eigenen Energieverbräuche des fokalen Unternehmens für die Herstellung des Produkts P mit

$$KEA_H^{*P} = \sum_{\substack{Z=1 \text{ bis } N \\ K=1 \text{ bis } n}} Z KEA_H^* + \text{Fokales Unternehmen} KEA_H^{*P}$$

zu einem Gesamtwert  $KEA_H^{*P}$ .

Das fokale Unternehmen bezieht die  $KEA_H^*$ -Werte aus Vorleistungen dabei von seinen direkten Zulieferern und kommuniziert die eigenen  $KEA_H^*$ -Werte an seine direkten Kunden ( $KEA_H^{*P}$ ).

### **Vorteile des dezentralen, durchgängigen Ansatzes zur Bestimmung der Werte**

Die Verwendung des  $KEA_H^*$ -Kennwertes hat drei zentrale Vorteile im Rahmen der Bewertung der Energieverbräuche zur Produktherstellung:

1. Der ermittelte  $KEA_H^*$ -Wert ist belastbar, da reale und aktuelle Werte der tatsächlichen Wertschöpfungskette berücksichtigt werden. Die Kontrolle über die Richtigkeit der Werte kann dabei durch Auditierungen – etwa im Rahmen der Zertifizierung von Energiemanagementsystemen – ermöglicht werden.
2. Der zeitliche Aufwand zur Bestimmung der Energieverbräuche für die Herstellung von Produkten wird geringer, da nicht ein Unternehmen die Energieverbräuche für die Produktion sämtlicher Zukaufteile der ganzen Wertschöpfungskette ermitteln muss. Es müssen nur die  $KEA_H^*$ -Werte der direkten Zulieferer abgefragt werden.
3. Da jedes Unternehmen möglichst günstige  $KEA_H^*$ -Werte vor seinen Kunden vorweisen möchte, bekommen Energieverbräuche der Produktionsprozesse einen neuen Stellenwert. In der Folge werden Energieeffizienzmaßnahmen verstärkt in den Fokus der Unternehmensstrategie geraten.

Abbildung 21 veranschaulicht die kettenartige Wirkung, die durch das Ausweisen von Energieverbräuchen bei der Produktherstellung angestoßen wird. Entweder fordert der Markt oder der Gesetzgeber entsprechende Informationen (1). Die Hersteller der Produkte werden dazu angehalten, die notwendigen Informationen zur Ermittlung der Werte zusammenzutragen (2a). Dabei sind sie auch auf die Informationen ihrer Zulieferer angewiesen. Gleichzeitig werden sie verstärkt zur Verbesserung ihrer Energieeffizienz motiviert (2b), da der Kunde die Werte durch die gewonnene Transparenz in seine Kaufentscheidung einfließen lassen wird. Die Hersteller geben



diese Forderungen wiederum an ihre Zulieferer weiter (3), da nur durch die durchgängige Bereitstellung der Informationen ein belastbarer Wert gewonnen werden kann. Dabei wird ebenfalls der Druck zur Effizienzsteigerung an die Zulieferer weitergegeben, Energiewerte als Kriterium im Einkauf verwendet werden. Diese Kette pflanzt sich somit bis zum Anfang der Wertschöpfungskette fort.

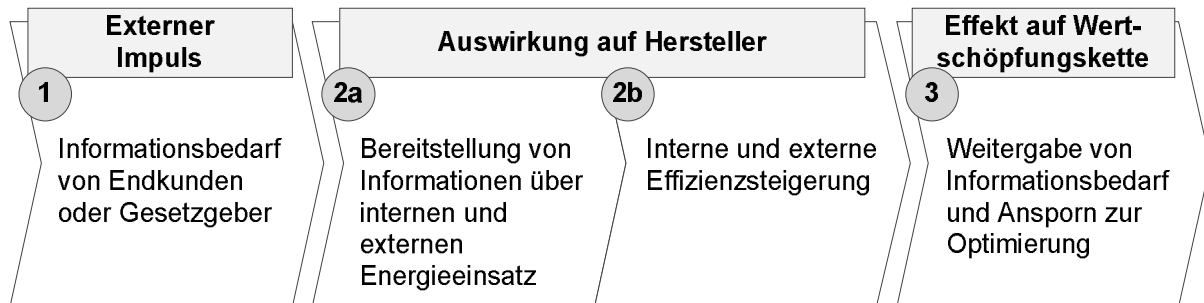


Abbildung 21: Prozesskette zur Effizienzsteigerung durch den Ausweis von Energieverbräuchen in der Produktion

Gleichzeitig kann mittels  $KEA_H^*$ -Wert ein unternehmensinternes Anreizsystem geschaffen werden, welches die Mitarbeiter mit Einfluss auf den Energieeinsatz (z.B. Werksleitung, Einkauf, Energiemanagement-Beauftragter, Werker) dazu motiviert, die Energieeffizienz zu steigern. Hierzu kann der  $KEA_H^*$ -Wert beispielsweise in ein Bonussystem integriert werden. Dabei sollen die Mitarbeiter an den Energieeinsparungen beteiligt werden, auf die sie selber Einfluss haben. Das Bonussystem kann für die unterschiedlichen Mitarbeiterfunktionen differenziert ausgestaltet sein. Das Management kann durch Vorgabe von Richtlinien und Bereitstellung von (finanziellen) Ressourcen für Energieeffizienzmaßnahmen Einfluss nehmen. Der Einkauf kann (und soll) durch die Anpassung von Beschaffungsstrategien den Energieverbrauch für Zukaufteile/ Vorleistungen beeinflussen. Der Werker hat schließlich durch die Bedienweise einen direkten Einfluss auf den Energieverbrauch der Anlage. Wichtig ist dabei, auf ein ausgeglichenes Anreizsystem zu achten. Das Verbessern der einen Zielgröße sollte nicht zu Lasten anderer Zielgrößen gehen. So soll die Zielgröße  $KEA_H^*$  im positiven Einklang mit anderen Messgrößen stehen.

### 3.1.2 Kommunikation und Verknüpfung eigener $KEA_H^*$ -Werte mit denen der Zulieferer

Im folgenden Absatz wird erläutert, wie das fokale Unternehmen die  $KEA_H^*$ -Werte der Zulieferer und die eigenen Energieverbräuche prinzipiell zu einem produktbezogenen  $KEA_H^*$ -Wert verarbeitet und an seine Kunden weitergibt.

#### Angabe des $KEA_H^*$ -Wertes in Relation zu Bezugsgrößen

Zur unternehmensübergreifenden Kommunikation des Kennwertes werden die spezifischen  $KEA_H^*$ -Werte  $Z_{k,KEA_H^*}$  der Komponenten von den Zulieferern pro

produktspezifischer Bezugsgröße angegeben. Die Bezugsgröße richtet sich dabei nach der Art des Produkts und dessen Stückelung in der weiteren Verarbeitung. Für Schüttgüter bieten sich beispielsweise volumetrische oder gewichtsbezogene Einheiten an, für Laufware gleichbleibenden Querschnitts Maßeinheiten wie laufender Meter und für Einzelteile/ Komponenten stückbezogene Einheiten. Diese Angaben sollen auf Produktinformationsblättern, Angeboten oder spätestens auf dem Lieferschein vermerkt sein – zusätzlich zu Angaben wie bspw. geometrische Abmessungen oder Gesamtgewicht. Der spezifische  $KEA_H^*$ -Wert  $\frac{Z}{K}kea_H^*$  ergibt sich somit wie folgt:

$$\frac{Z}{K}kea_H^* = \frac{\frac{Z}{K}KEA_H^*}{\text{Komponentenspezifische Bezugsgröße}} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} Z = \text{Zulieferndes Unternehmen} \\ K = \text{Komponente} \end{array}$$

Aus der Multiplikation der Werte  $\frac{Z}{K}kea_H^*$  mit der verbrauchten Menge für das jeweilige Produkt ergibt sich der vom fokalen Unternehmen zu berücksichtigende Wert

$$\frac{Z}{K}KEA_H^* = \frac{Z}{K}kea_H^* \cdot \text{verwendete Menge} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} Z = \text{Zulieferndes Unternehmen} \\ K = \text{Komponente} \end{array}$$

Zur Kommunikation an den Endkunden kann sich der Kennwert  $KEA_H^*$  schließlich auf ein einzelnes Stück beziehen.

### Verarbeitung der Informationen durch das fokale Unternehmen

Die Übergabe und Verarbeitung der  $KEA_H^*$ -Werte ist schematisch in Abbildung 22 dargestellt.

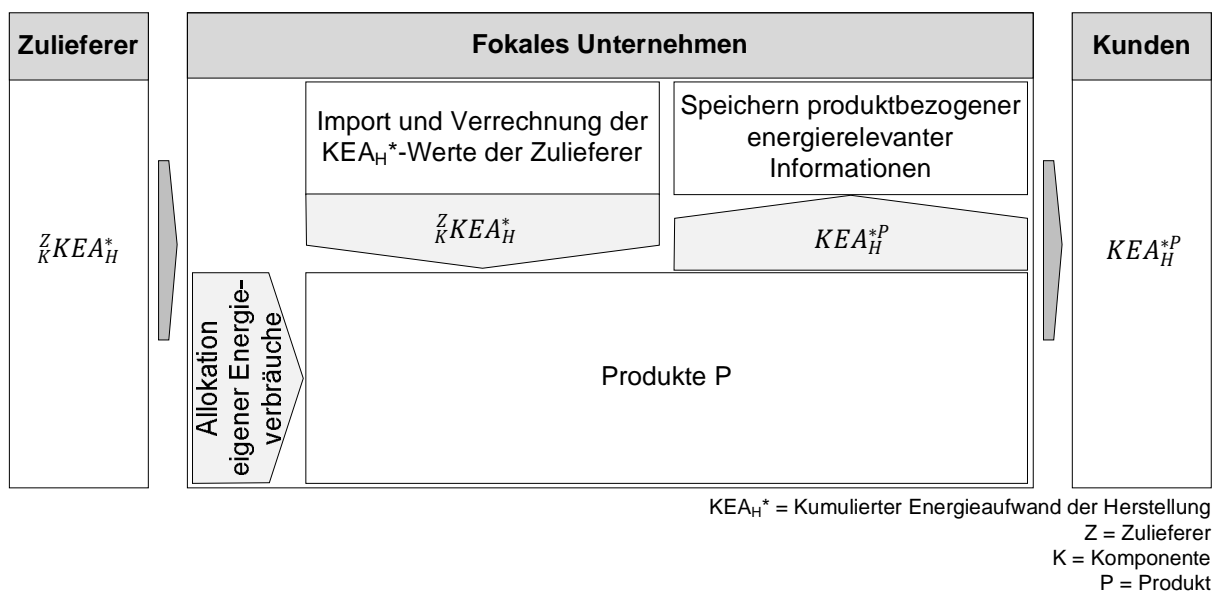


Abbildung 22: Verarbeitung der  $KEA_H^*$ -Werte durch das fokale Unternehmen

Die  $KEA_H^*$ -Werte  $\frac{Z}{K}KEA_H^*$  (bzw.  $\frac{Z}{K}kea_H^*$ ) der Zulieferer werden im fokalen Unternehmen erfasst (z.B. digital im ERP-System). Sie werden je nach Verwendung auf die

Produkte P allokiert. Durch zusätzliche Allokation der Eigenenergieverbräuche des fokalen Unternehmens resultieren die Werte  $KEA_H^*$  je Produkt P.

Dem Endkunden können die Informationen auf vielfältige Weise übermittelt werden. Je nach Produktart ist eine Deklaration auf der Verpackung und/ oder auf Datenblättern sinnvoll. Zudem können die gewonnenen Informationen auch mit Verbrauchswerten bei der Produktbenutzung verknüpft werden. So steht dem Endkunden ein zusätzlicher Informationsbaustein zur Bewertung gleichartiger Produkte zur Verfügung.

### 3.1.3 Bilanzgrenzen und Treibhausgasemissionen im Rahmen des $KEA_H^*$ -Wertes

Der folgende Absatz beschreibt die Bilanzgrenzen zur Bestimmung des  $KEA_H^*$ -Wertes und diskutiert die Angabe von THG-Emissionen auf dessen Basis.

#### Die Bilanzgrenzen zur Bestimmung des $KEA_H^*$ -Kennwertes

Die Bilanzgrenzen dieser Methodik liegen bei den Energieverbräuchen, die in den Unternehmen der Wertschöpfungskette des fokalen Unternehmens bei der Produktion sämtlicher Bestandteile des Produkts angefallen sind. Wie in Abbildung 23 dargestellt, wird dabei die Wertschöpfungskette von den Rohstoffen bis zum fokalen Unternehmen betrachtet. Dies schließt alle Zukaufteile inkl. Dienstleistungen, Energieverbräuche für Transporte und (Intra-)Logistik sowie sämtliche Energieverbräuche des fokalen Unternehmens mit ein.

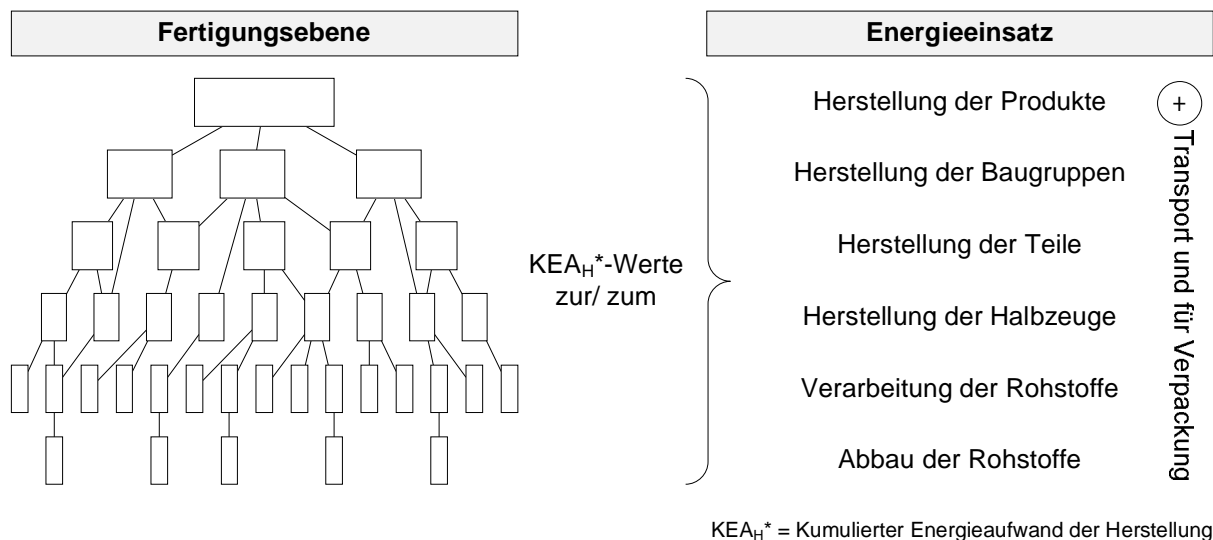


Abbildung 23: Berücksichtigung aller Energieverbräuche zur Bestimmung des  $KEA_H^*$ -Wertes (in Anlehnung an VDI 4600 [9])

Nicht berücksichtigt werden Energieverbräuche, die bei der Herstellung von Produktionsanlagen bzw. der Errichtung von Gebäuden angefallen sind. Deren Einbeziehung würde die Bilanzgrenzen sprengen, ohne einen entscheidungsrelevanten

ten Mehrwert zu bieten. Unabhängig davon wirken sich die energierelevanten Eigenschaften von Produktionsanlagen und Gebäuden passiv ohnehin auf den  $KEA_H^*$ -Wert aus. Wenn beispielsweise bei der Kaufentscheidung von Produktionsanlagen auf deren Verbrauchswerte im Betrieb geachtet wird, profitiert der  $KEA_H^*$ -Wert durch die gesteigerte Energieeffizienz. Analog verhält es sich bei energieeffizient ausgelegten Gebäuden.

### **Berücksichtigung von THG-Emissionen im Rahmen des $KEA_H^*$ -Ansatzes**

Aus umwelttechnischer Sicht ist sowohl die Betrachtung des absoluten Energieverbrauchs als auch die Menge der emittierten Treibhausgase relevant. Als Kostentreiber nimmt der Energieverbrauch eine prominente Stellung ein. Aus gesellschaftlicher Sicht kommt hinzu, dass eine Steigerung der Energieeffizienz in allen Sektoren (Industrie, Haushalte, Verkehr und Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen) notwendig ist, um die Energiewende gelingen zu lassen. Gleichzeitig unterscheidet sich die Umweltauswirkung des Energieverbrauchs je nach eingesetzter Primärenergieform. Die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien setzt beispielsweise weniger Treibhausgase frei als etwa die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Demnach ist grundsätzlich die Betrachtung beider Kenngrößen interessant.

Aus folgenden Gründen wird jedoch beim Ansatz des  $KEA_H^*$  die Angabe in Kilowattstunden einer Angabe in  $CO_2$ -Äquivalenten (wie zum Beispiel beim PCF) vorgezogen:

- Bei begrenztem Energie- (bzw. Strom-)Angebot ist die Reduzierung des Energieverbrauchs unabhängig vom Umwelteinfluss der eingesetzten Energieart angezeigt.
- Die Bewertung von elektrischem Strom in  $CO_2$ -Äquivalenten, welcher aus Kernenergie gewonnen wird, ist nicht zielführend, da dessen potenzielle Umweltbelastung nicht primär mit treibhausgasinduzierten Effekten zusammenhängt.
- Die Energieeffizienz eines Unternehmens inklusive dessen Wertschöpfungskette sollte unabhängig von den durch das Unternehmen nicht beeinflussbaren Rahmenbedingungen bewertet werden. Das ist bei einer Angabe in  $CO_2$ -Äquivalenten nicht immer möglich, da der Strom-Mix nicht in allen Ländern gleich ist.

Der Kennwert  $KEA_H^*$  lässt sich bei Bedarf dennoch in analoger Weise auf die Emission von Treibhausgasen übertragen. Zur Ermittlung und Allokation der resultierenden THG-Emissionen werden die den Produkten zugeschriebenen Energieverbräuche mit entsprechenden THG-Umrechnungsfaktoren multipliziert. Die Umrechnungsfaktoren hängen von den eingesetzten Energiearten ab und müssen

daher separat ermittelt werden. Für die Bewertung des elektrischen Stroms ist der eingekaufte Strom-Mix entscheidend, wobei die Emissionsmenge pro bezogener Menge Strom beim Energieversorgungsunternehmen in Erfahrung gebracht werden kann. Die THG-Werte, die bei der Produktion der Vorleistungen entstanden sind, müssen ebenfalls von den Zulieferern mitgeteilt werden.

Die Menge der Treibhausgase, die bedingt durch Transporte im Rahmen des Produktentstehungsprozesses in der Wertschöpfungskette einem Produkt zugeordnet werden müssen, hängt von den genauen Modalitäten des Transports ab. Einflussfaktoren sind bspw. das Transportmittel (Lastkraftwagen, Zug, Flugzeug, Schiff), der Kraftstoff, mit dem das Transportmittel betrieben wird, der Auslastungsgrad der Transportkapazität und die Entfernung. Um die THG-Emissionen der Transporte mit einem standardisierten Verfahren auf Produkte zu allokalieren, kann die Methode, die in der DIN EN 16258:2012 mit dem Titel „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen bei Transportleistungen (Güter- und Personenverkehr)“ [139] beschrieben ist, verwendet werden.

Durch die Addition der THG-Emissionen, bedingt durch

- die Herstellung von Vorleistungen,
- den Transport der Vorleistungen,
- unternehmensinterne Produktionsprozesse inklusive
- Umwandlungs- und Leitungsverluste,

ist eine durchgängige Bewertung der Produktion von Gütern aus Sicht der THG-Emissionen möglich.

## **3.2 Entwicklung eines Schemas zur Allokation von Energieverbräuchen**

Zur Ermittlung belastbarer und vergleichbarer  $KEA_H^*$ -Werte muss jedes Unternehmen der Wertschöpfungskette seine Energieverbräuche verursachungsgerecht zu unternehmensindividuellen  $KEA_H^*$ -Werten  ${}^Z_K KEA_H^*$  verknüpfen. Hierzu ist ein Zuordnungsschema anzuwenden, dessen Genauigkeit im Rahmen einer Zertifizierung, bspw. im Zuge eines Energiemanagement-Audits, überprüft werden kann. Im folgenden Abschnitt wird zunächst ein Kalkulationsschema zum Kennwert  $KEA_H^*$  vorgestellt. Im Anschluss werden die Elemente der zugehörigen Kennwertesammlung erläutert, klassifiziert und beschrieben.

### **3.2.1 Entwicklung des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas durch Spiegelung am mehrstufigen Zuschlagskalkulationsschema der Kostenrechnung**

Es wird grundsätzlich zwischen Einzelenergieverbräuchen und Gemeinenergieverbräuchen unterschieden. Einzelenergieverbräuche seien Energieverbräuche, die

Produkten direkt zugeordnet werden können. Bei Gemeinenergieverbräuchen ist das nicht direkt möglich, sodass eine Allokation über Schlüsselung erfolgt. Eine genaue Einteilung der Energieverbräuche in die beiden Kategorien erfolgt in Absatz 3.2.2.

Damit das fokale Unternehmen die eigenen Energieverbräuche und die  $KEA_H^*$ -Werte der Vorleistungen auf die hergestellten Produkte zuordnen kann, bedarf es eines geeigneten Instruments. Die Zuordnung muss möglichst einheitlich und verursachungsgerecht erfolgen, damit die produktbezogenen  $KEA_H^*$ -Werte aussagekräftig und belastbar sind. Die Verzerrung des energetischen Abbildes auf die Produkte führt sonst zu einer Subventionierung mancher Produkte zu Lasten anderer Produkte. Um auf etablierten Methoden aufzubauen, soll sich dieses Instrument an ein Verfahren der Kostenrechnung anlehnen, in dem ähnliche Problemstellungen auftreten.

Aufgrund der identifizierten Anforderungen stellt sich aus diesem Bereich die differenzierte Zuschlagskalkulation als geeignetes Verfahren zur Allokation der Energieverbräuche auf die hergestellten Produkte heraus. Durch Klassifikation der Energieverbräuche und Spiegelung an den Elementen der Zuschlagskalkulation lassen sich alle Energieverbräuche einzelnen Produkten zuordnen.

Abbildung 24 stellt das Grundscheema der  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation in Anlehnung an die Zuschlagskalkulation der Kostenrechnung (siehe [65]) dar.

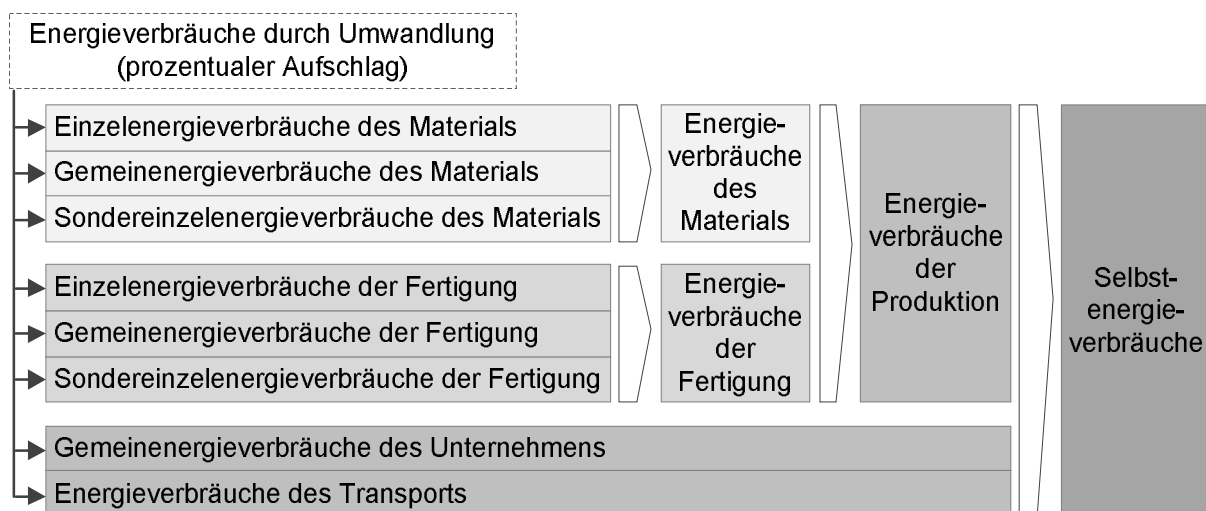


Abbildung 24: Grundscheema der  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation

Ausgehend von diesem Grundscheema wird in Tabelle 6 das  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema dargestellt und am mehrstufigen Zuschlagskalkulationsschema der Kostenrechnung gespiegelt.

**Tabelle 6:** Spiegelung des  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas am mehrstufigen Zuschlagskalkulationsschema der Kostenrechnung

Zuschlagskalkulationsschema				KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -Zuschlagskalkulationsschema			
	Kürzel	Bezeichnung	Beispiele	Kürzel	Bezeichnung	Erläuterung	
	MEK	Materialeinzelkosten	Rohstoffe, Komponenten, Module	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -MEV	Einzelenergieverbräuche des Materials	Verbräuche der Zulieferer für Herstellung und Transport von Vorleistungen	
+	SeMK	Sondereinzelkosten d. Materials	Fracht und Verpackung	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -SeMEV	Sondereinzelenergieverbräuche des Materials	Verbräuche der Zulieferer für Verpackung und Transporte <sup>1)</sup>	
+	MGK	Materialgemeinkosten	Lager und Lager-equipment	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -MGV	Gemeinenergieverbräuche des Materials	Verbräuche für Transportmittel, Verpackung und Rohstoffverluste	
=	MK	Materialkosten		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -M	Energieverbräuche des Materials		
+	FEK	Fertigungseinzelkosten	Lohnkosten	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -FEV	Einzelenergieverbräuche der Fertigung	Direkt zuordenbare Verbräuche der Fertigungsanlagen	
+	FGK	Fertigungsgemeinkosten	Betriebsmittelkosten	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -FGV	Gemeinenergieverbräuche der Fertigung	Energieverbräuche während Ausfallzeiten	
+	SeKF	Sondereinzelkosten d. Fertigung	Spezialwerkzeuge, F&E-Kosten	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -SeFEV	Sondereinzelenergieverbräuche der Fertigung	Energieverbräuche aus Forschung und Entwicklung	
=	FK	Fertigungskosten		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -F	Energieverbräuche der Fertigung		
MK + FK				KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -M + KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -F			
=	HK <sub>P</sub>	Herstellkosten der Produktion		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -P	Energieverbräuche der Produktion		
+	VwGK	Verwaltungsgemeinkosten		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -GV	Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens	Verbräuche für nicht zuordenbare Gemeinenergieverbraucher	
+	VtGK	Vertriebsgemeinkosten					
+	SeKV	Sondereinzelkosten des Vertriebs	Frachten, Zölle, Werbekosten	KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -T	Energieverbräuche des Transports	Verbräuche durch Transport des Produkts zum Kunden	
=	SK	Selbstkosten		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -S	Selbstenergieverbräuche		
+	G	Gewinnzuschlag		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -A	Selbstenergieaufschlag		
+	Sk/Vtp	Skonto/ Provision					
=	ZVP	Zielverkaufspreis		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -Z	Zielenergieverbräuche		
+	R	Rabatt		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup> -R	Abschlag auf die Zielenergieverbräuche		
=	LVP	Listenverkaufspreis		KEA <sub>H</sub> <sup>*</sup>	Kumulierter Energieaufwand der Herstellung		

1) Sofern nicht bereits in den  $KEA_H^*$ -MEV enthalten

### 3.2.2 Beschreibung der Elemente des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas

Im Folgenden werden die Elemente des  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas aus Tabelle 6 aus Sicht des fokalen Unternehmens beschrieben. Den einzelnen  $KEA_H^*$ -Elementen werden dabei Verbrauchergruppen bzw. -klassifikationen zugeordnet.

#### Energieverbräuche des Materials

Die Energieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -M) ergeben sich aus Einzelenergieverbräuchen des Materials ( $KEA_H^*$ -MEV), Sondereinzelenergieverbräuchen des Materials ( $KEA_H^*$ -SeMEV) sowie Gemeinenergieverbräuchen des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV).

Einzelenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MEV) sind die Werte  $\frac{Z}{K}KEA_H^*$ , die der Zulieferer der Zukaufteile entsprechend ausweist (wie in Abschnitt 3.1 beschrieben). Sie schließen die Energieverbräuche der Verpackungen und Transporte bis zum fokalen Unternehmen mit ein.

Als recycelte Rohmaterialien sollen in Anlehnung an das Kreislaufwirtschaftsgesetz im Folgenden Materialien bezeichnet werden, die aus ursprünglichen Abfällen zu neuen (Roh-)Erzeugnissen aufbereitet wurden. Diese werden nur mit dem Energieaufwand des Recyclingprozesses bewertet, da der  $KEA_H^*$ -Wert des ursprünglichen Rohmaterials vor dem Recyclingvorgang bereits durch die Einzel- bzw. Gemeinenergieverbräuche des Materials verrechnet worden ist (siehe  $KEA_H^*$ -MGV). Folglich kann ein Recyclingunternehmen die bezogenen, zu recycelnden „Rohmaterialien“ mit einem  $KEA_H^*$ -MEV-Wert von Null bewerten, um eine Doppelbewertung zu vermeiden.

Sondereinzelenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -SeMEV) sind Energieverbräuche des Zulieferers für Verpackungsmaterialien und Transporte, sofern diese dem fokalen Unternehmen gesondert in Rechnung gestellt und einzeln ausgewiesen werden. Dies ist jedoch bereits im klassischen Rechnungswesen unüblich und daher auch bei der  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation nicht zu erwarten.

Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV) werden prozentual zur Basis des  $KEA_H^*$ -MEV aufgeschlagen. Zu den  $KEA_H^*$ -MGV zählen:

- Verbräuche für Transportmittel der Intralogistik (siehe Tabelle 7)
- Verbräuche der Verpackungsmaschinen (siehe Tabelle 8)
- $KEA_H^*$ -Werte fremdbezogener Verpackungsmaterialien
- Einzelenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MEV) nicht genutzter Rohmaterialien (bspw. durch Verschnitt), Komponenten oder Ausschussteile.

Die Zuschlagssätze der Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV) je Energieart  $E$  (Vorleistungen, elektrischer Strom, Gas, Druckluft etc.) ergeben sich analog zur Vorgehensweise bei der Kostenrechnungszuschlagskalkulation aus der



Summe der Gemeinenergieverbräuche der Energieart dividiert durch die Summe der Einzelenergieverbräuche der Energieart:

$$^{Material}Zuschlagssatz_E = \frac{\sum MGVE}{\sum MEVE}$$

**Tabelle 7:**      *Transportmittel, deren Verbräuche den KEA<sub>H</sub>\*-MGV zugeordnet werden (Einteilung nach [140])*

Transportmittel						
Unstetigförderer				Stetigförderer		
Stück- und Schüttgutförderer				Stückgut-förderer	Schüttgut-förderer	Stück- und Schüttgut-förderer
Hebe-zeuge	Hängebahnen	Krane	Flurför-dermittel	z.B. Kreis-förderer	z.B. Becher-werke	z.B. Gurt-förderer

**Tabelle 8:**      *Verpackungsmaschinen, deren Verbräuche den KEA<sub>H</sub>\*-MGV zugeordnet werden (Einteilung nach [141])*

Verpackungsmaschinen				
Vorgeschaltete Vorgänge	Hauptvorgänge			Nachgeschaltete Vorgänge
Maschinen/ Einrichtungen zum Vorbereiten von Packgut, Packmitteln oder Packhilfsmitteln (z.B. Entstapeln, Reinigen, Trocknen etc.)	Form-maschinen	Füll-maschinen	Verschließ-maschinen	Maschinen/ Einrichtungen zum Verbessern der Distributions- und Gebrauchsfähigkeit (z.B. Etikettieren, Bandolieren, Umreifen etc.)

## Energieverbräuche der Fertigung

Energieverbräuche der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-F) setzen sich zusammen aus den Einzelverbräuchen der Fertigungsanlagen (KEA<sub>H</sub>\*-FEV), den Gemeinverbräuchen der Fertigungsanlagen (KEA<sub>H</sub>\*-FGV) sowie den Sondereinzelenergieverbräuchen der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-SeFEV).

Einzelenergieverbräuche der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-FEV) sind die Verbräuche der Fertigungsanlagen des fokalen Unternehmens, welche zur Herstellung von Produkten eingesetzt werden. Darunter sind insbesondere die Verbräuche der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 [142] eingeordnet.

Der prozentuale Zuschlag der Gemeinenergieverbräuche der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-FGV) erfolgt zu Basis der KEA<sub>H</sub>\*-FEV. Zu den KEA<sub>H</sub>\*-FGV zählen die nicht-wertschöpfenden

Energieverbräuche der Fertigungsanlagen. Dies sind in Anlehnung an die VDI-Richtlinie zur Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen [143] Energieverbräuche während

- technischer Ausfallzeiten,
- Wartungszeiten,
- Testzeiten,
- organisatorischer Ausfallzeiten (inklusive Hoch-/ Runterfahren und Rüstzeiten).

Für jede Ausfallzeit muss dabei ein Modell definiert sein, das als Basis für entsprechende Energieverbräuche dient.

Die Zuschlagssätze der Gemeinenergieverbräuche der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FGV) je Energieart  $E$  (Vorleistungen, elektrischer Strom, Gas, Druckluft etc.) ergeben sich aus der Summe der Gemeinenergieverbräuche der Energieart dividiert durch die Summe der Einzelenergieverbräuche der Energieart:

$$Fertigung\ Zuschlagssatz_E = \frac{\sum FGV_E}{\sum FEV_E}$$

Bei energieintensiven Betrieben werden Energiekosten mitunter im Posten der Sondereinzelkosten der Fertigung verrechnet [144]. Da die  $KEA_H^*$ -Metrik jedoch eine ganzheitlich differenzierte Verteilung der Energieverbräuche anstrebt, werden den Sondereinzelenergieverbräuchen der Fertigung ( $KEA_H^*$ -SeFEV) nur die übergeordneten Energieverbräuche zugeschrieben, die einer Produktlinie zugeordnet werden können, nicht jedoch einer einzelnen Einheit. Ein wichtiges Beispiel hierfür sind Energieverbräuche aus Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten (F&E). Gerade hier besteht jedoch, analog zur klassischen Kostenrechnung, ein (zeitbedingtes) Zuordnungsproblem. F&E-Aufwendungen zählen zu den Vorleistungen, die den künftigen Unternehmenserfolg sichern (vgl. [145; 146]). Bezogen auf ein Produkt entstehen die Energieverbräuche der F&E also periodenfremd und vor der eigentlichen Produkterstellung. Diese aufgelaufenen  $KEA_H^*$ -SeFEV müssen somit im Nachhinein dem entsprechenden Produkt zugeordnet werden. Können Energieverbräuche aus der F&E einem Produkt nicht zugeordnet werden, müssen diese in einer übergeordneten Bezugsgröße (bspw. den Gemeinenergieverbräuchen des Unternehmens  $KEA_H^*$ -GV) verrechnet werden.

### **Energieverbräuche der Produktion**

Die Energieverbräuche der Produktion ( $KEA_H^*$ -P) ergeben sich aus der Summe von Energieverbräuchen für Material ( $KEA_H^*$ -M) und Energieverbräuchen der Fertigung ( $KEA_H^*$ -F).

## Selbstenergieverbräuche

Die Selbstenergieverbräuche  $KEA_H^*$ -S entsprechen den Energieverbräuchen der Produktion ( $KEA_H^*$ -P) zuzüglich der Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV) sowie der Energieverbräuchen durch den Transport zum Kunden ( $KEA_H^*$ -T). Zusätzlich werden die Energieverluste durch Energiebereitstellung und Umwandlung ( $KEA_H^*$ -EB&U) aufgeschlagen.

Bei Einzelfertigungen ergibt sich der  $KEA_H^*$ -S-Wert direkt als Ergebnis der Zuschlagskalkulation. Bei Serienfertigungen resultiert der produktbezogene  $KEA_H^*$ -S-Wert durch Division des  $KEA_H^*$ -S-Wertes aus der Zuschlagskalkulation durch die produzierte Menge.

Die Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV) sind die Energieverbräuche, die sich einzelnen Produkten nicht verursachungsgerecht zuordnen lassen. Dies sind in Anlehnung an [147] Verbräuche für:

- Raumwärme/ Klimakälte
- Warmwasser
- Beleuchtung
- Informations- und Kommunikationstechnologie.

Verbräuche für Lagerhaltung (bspw. Kühlräume) fallen ebenfalls in diesen Bereich, sofern diese Verbräuche für mehrere Produkte anfallen und eine verursachungsgerechte Aufteilung nicht möglich ist.

Der prozentuale Zuschlag der  $KEA_H^*$ -GV erfolgt zur Basis der Summe aus Einzel- und Gemeinenergieverbräuchen des Materials und der Fertigung. Um eine höhere Genauigkeit der Zuschlagung zu erzielen, werden die Zuschlagssätze je Energieart  $E$  (Vorleistungen, elektrischer Strom, Gas, Druckluft etc.) ermittelt. Anders als bei der klassischen Kostenrechnung ist diese Spezifizierung der Gemeinkostensätze ohne erheblichen Mehraufwand bei gleichzeitig hohem Gewinn an Genauigkeit möglich. Die Zuschlagssätze ergeben sich somit aus:

$$\text{Gemeinenergie} \text{Zuschlagssatz}_E = \frac{\sum GV_E}{\sum (MEV_E + MGV_E + FEV_E + FGV_E)}$$

Zur Bewertung der Energieverbräuche durch Transport ( $KEA_H^*$ -T) der Produkte zum Kunden kann die DIN EN 16258 [139] verwendet werden. Der Wert  $KEA_H^*$ -T muss kundenindividuell, bspw. bei der Erstellung eines Angebots, berechnet und zugeschlagen werden.

Im Einklang mit der klassischen Methode zur Ermittlung des  $KEA_H$  werden die Energieverbräuche, die für die Bereitstellung der Energie durch den Energieversor-

ger anfallen, den  $KEA_H^*$ -EB&U zugeschrieben (und anschließend den Selbstenergieverbräuchen  $KEA_H^*$ -S aufgeschlagen). Zu den  $KEA_H^*$ -EB&U ([9]) gehören

- die Energieverbräuche für die Gewinnung von Energieformen (z.B. Öl, Kohle oder Gas aus deren Lagerstätte);
- bei elektrischem Strom die Verbräuche zur Verstromung sowie
- insgesamt alle Transportverbräuche und -verluste zur Bereitstellung der Energie für das Unternehmen.

Dies gilt ebenfalls für Verluste, die im Unternehmen durch Umwandlung und Leitung von Primärenergie- in Endenergieformen anfallen.

Der prozentuale Zuschlag des  $KEA_H^*$ -EB&U erfolgt zur Basis der entsprechenden  $KEA_H^*$ -S-Position. Jeder Verbrauchswert (mit Ausnahme der  $KEA_H^*$ -Werte für Vorleistungen) muss also um einen entsprechenden Faktor erhöht werden.

Die Zuschlagssätze je Energieart  $E$  (Vorleistungen, elektrischer Strom, Gas, Druckluft etc.) ergeben sich aus

$${}^{EB\&U}Zuschlagssatz_E = \frac{\sum EB\&U_E}{\sum (MEV_E + MGV_E + FEV_E + FGV_E + GV_E)}$$

Bei Energieformen, die vom fokalen Unternehmen unter Verwendung von Primärenergieformen erzeugt werden, müssen Umwandlungsverluste beider Umwandlungsvorgänge berücksichtigt werden.

Durch die folgenden Beispielrechnungen soll der Zuschlagssatz  $KEA_H^*$ -EB&U verdeutlicht werden:

- Ein Unternehmen habe in einem Monat einen gesamten Druckluftverbrauch, der einem Energieverbrauch von 9 MWh entspricht. Die Umwandlungsverluste durch die Drucklufterzeugung und die Leitungsverluste entsprechen einem zusätzlichen Energieverbrauch von 1 MWh im gleichen Zeitraum. Es ergibt sich ein Zuschlagssatz auf alle Druckluftverbräuche  $KEA_H^*$ -EB&U<sub>DL</sub> von 11%.
- Ein Unternehmen beziehe in einem Monat 100 MWh elektrischen Strom. Hierzu ist für die Stromerzeugung und -bereitstellung bei einem angenommenen Bereitstellungsnutzungsgrad von 32% ([148]) insgesamt ein Energieaufwand von 312,5 MWh notwendig. Durch unternehmensinterne Trafo- und Leitungsverluste entfallen weitere 4 MWh. Der Zuschlagssatz auf alle Stromverbräuche  $KEA_H^*$ -EB&U<sub>El</sub> entspricht somit 330%.

### **Selbstenergieaufschlag, Zielenergieverbräuche und Abschlag auf Zielenergieverbräuche**

Analog zum klassischen Zuschlagskalkulationsschema ist es nach dem Vorbild des Emissionshandels in der Energie-Controlling-Methodik möglich, die Selbstenergie-

verbräuche ( $KEA_H^*-S$ ) durch Auf- oder Abschläge zu verändern. Die Zielenergieverbräuche ( $KEA_H^*-Z$ ) entsprechen dabei den Selbstenergieverbräuchen ( $KEA_H^*-S$ ) zuzüglich etwaiger Selbstenergieaufschläge ( $KEA_H^*-A$ ). Werden von den Zielenergieverbräuchen ( $KEA_H^*-Z$ ) Abschläge ( $KEA_H^*-R$ ) abgezogen, erhält man den endgültigen Wert  $KEA_H^*$ .

Selbstenergieaufschläge können von Unternehmen auf eigene Produkte allokiert werden, wenn vorher entsprechende  $KEA_H^*$ -Transfer-Werte in gleicher Höhe von anderen Unternehmen übernommen wurden. Dieser Vorgang ist zum Beispiel dann denkbar, wenn ein Unternehmen eine besonders energieeffiziente Wertschöpfungskette betreibt und Produkte mit niedrigeren  $KEA_H^*$ -Werten anbieten kann als die Mitbewerber. Diese Konstellation wird durch Abbildung 25 veranschaulicht.

Unternehmen 1 (links) übernimmt  $KEA_H^*$ -Werte (dunkelgrau dargestellt) von Unternehmen 2 (rechts) und erhält dafür einen finanziellen Ausgleich. Unternehmen 1 schlägt die übernommenen  $KEA_H^*$ -Werte auf die Selbstenergieverbrauchswerte ( $KEA_H^*-S$ ) auf. Unternehmen 2 kann dafür Abschläge ( $KEA_H^*-R$ ) in gleicher Höhe von seinen Selbstenergieverbrauchswerten ( $KEA_H^*-S$ ) abziehen, welche in diesem Fall den Zielenergieverbrauchswerten ( $KEA_H^*-Z$ ) entsprechen.

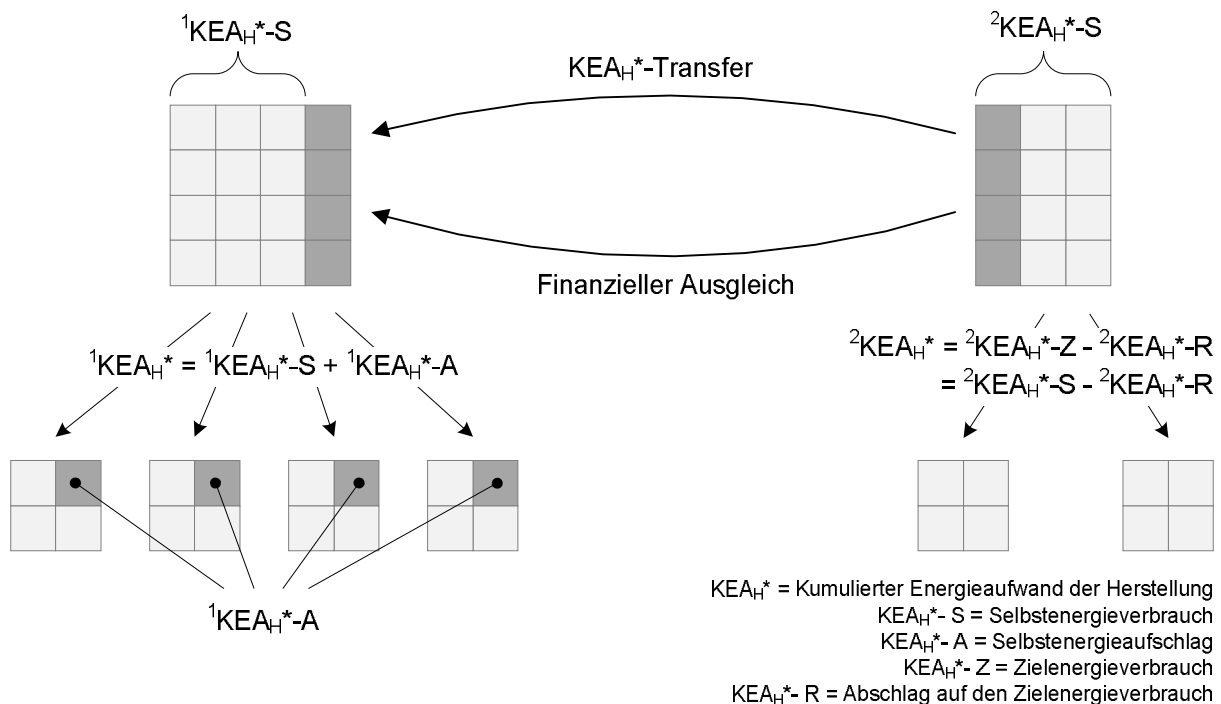


Abbildung 25: Übertragung von  $KEA_H^*$ -Werten

Eine weitere Möglichkeit zur Gewährung von Abschlägen ( $KEA_H^*-R$ ) auf die Zielenergieverbräuche ( $KEA_H^*-Z$ ) besteht analog zum Handel mit Emissionszertifikaten darin, dass die Selbstenergieverbräuche ( $KEA_H^*-S$ ) gemindert werden können, wenn in regenerative Energieformen investiert wird.

Dieser Vorgang ist in Abbildung 26 veranschaulicht. Das Unternehmen investiert in einen Windpark und kann dafür Abschläge ( $KEA_H^*-R$ ) von seinen Selbstenergieverbräuchen ( $KEA_H^*-S$ ) bzw. Zielenergieverbräuchen ( $KEA_H^*-Z$ ) abziehen.

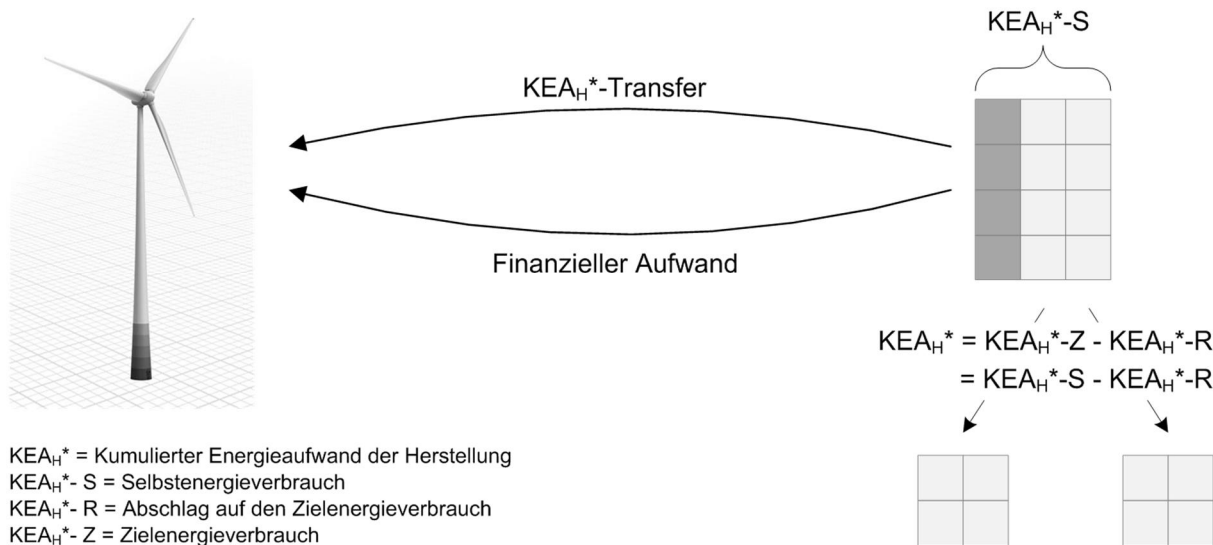


Abbildung 26: Minderung der Selbstenergieverbräuche  $KEA_H^*-S$  durch Investition in regenerative Energieformen

### 3.2.3 Maschinenstundensatzrechnung im $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema

In der Zuschlagskalkulation der Kostenrechnung werden die Fertigungsgemeinkosten auf Basis der Fertigungseinzelkosten (entspricht im Wesentlichen den Fertigungslöhnen) zugeschlagen. Gerade bei hohem Automatisierungsgrad resultieren sehr hohe Zuschlagssätze. Abgesehen von einer gesteigerten Fehleranfälligkeit des Kalkulationsschemas kommt es zu einer unzutreffenden Belastung von Kostenträgern, wenn die Maschinennutzung nicht proportional zu den Fertigungseinzelkosten ist. Bei hohem Automatisierungsgrad wird das Kalkulationsschema daher häufig durch eine Maschinenstundensatzrechnung ergänzt. [149]

Diese Ergänzung ist im  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema nicht notwendig. Die Energieverbräuche der Maschinen und Anlagen werden direkt als (Einzel-) Energieverbräuche der Fertigung ( $KEA_H^*-FEV$ ) gewertet und bilden unmittelbar die Basis für die Zuschlagssätze.

Wichtiger ist es, eine hohe Allokationsgenauigkeit im Bereich der Produktionsanlagen ( $KEA_H^*-FEV$ ) zu erreichen, da im produzierenden Gewerbe mit 88 Prozent Prozesswärme (Wärmeeinsatz durch Fernwärme, Wärmeerzeugung durch Öl oder Gas) und ca. 85 Prozent elektrischem Strom (mechanische Energie, elektrische Antriebe und Prozesswärme) hier der größte Energieverbrauch verursacht wird (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28).

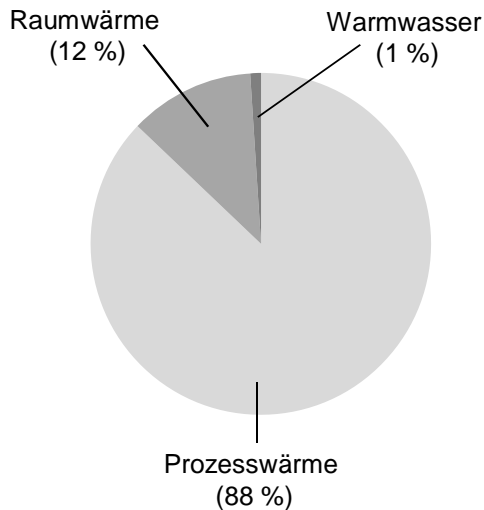


Abbildung 27: Prozentuale Verteilung der Wärmeanwendungen in der Industrie, Stand 2012 [150]

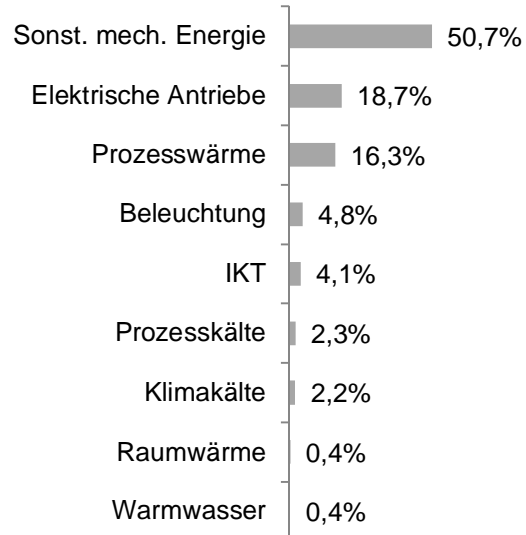


Abbildung 28: Prozentuale Verteilung der Stromverbräuche in der Industrie, Stand 2011 [147]

Durch Installation von Messgeräten und Verknüpfung der gemessenen Energieverbräuche mit den im gleichen Zeitraum produzierten Produkten an den jeweiligen Anlagen können die benötigten Werte gut ermittelt werden (siehe Abschnitt 4.2).

### 3.3 Anwendung des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas am Beispielunternehmen

Anhand eines Beispielunternehmens aus der Grundstoffindustrie soll im Folgenden die Ermittlung von  $KEA_H^*$ -Werten mittels  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema durchgeführt werden. Hierzu wird zunächst das Unternehmen mitsamt seiner energetischen Zusammenhänge vorgestellt. Im Anschluss wird das  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema angewendet, um die  $KEA_H^*$ -Werte zu ermitteln. Schließlich wird das Ergebnis anhand eines Sankey-Diagramms zusammengefasst und interpretiert.

#### 3.3.1 Vorstellung des Unternehmens

Das Unternehmen stellt in einem mehrstufigen Produktionsprozess die Produkte 1, 2 und 3 her. Dabei werden die Rohstoffe A, B und C eingesetzt, welche von Zulieferern bezogen werden. Abbildung 29 stellt die Energie- und Ressourcenströme des Unternehmens in einem exemplarischen Monat dar. Die Hauptenergieabnehmer sind zwei Pressen sowie zwei Härteöfen. Das Unternehmen bezieht Primärenergie in Form von elektrischem Strom und Erdgas vom Energieversorgungsunternehmen und wandelt diese mittels Transformator, Brenner zur Wärmeherzeugung und Kompressoren zur Druckluftherzeugung in Endenergieformen um. Dabei fallen jeweils

Umwandlungs- und Leitungsverluste an. Auch die Rohstoffe A, B und C können nicht vollständig genutzt werden. Es verbleiben jeweils kleine Mengen ungenutzt (z.B. aufgrund von Ausschuss oder Resten), sodass die von den Zulieferern eingebrachte Energie ebenfalls ungenutzt bleibt.

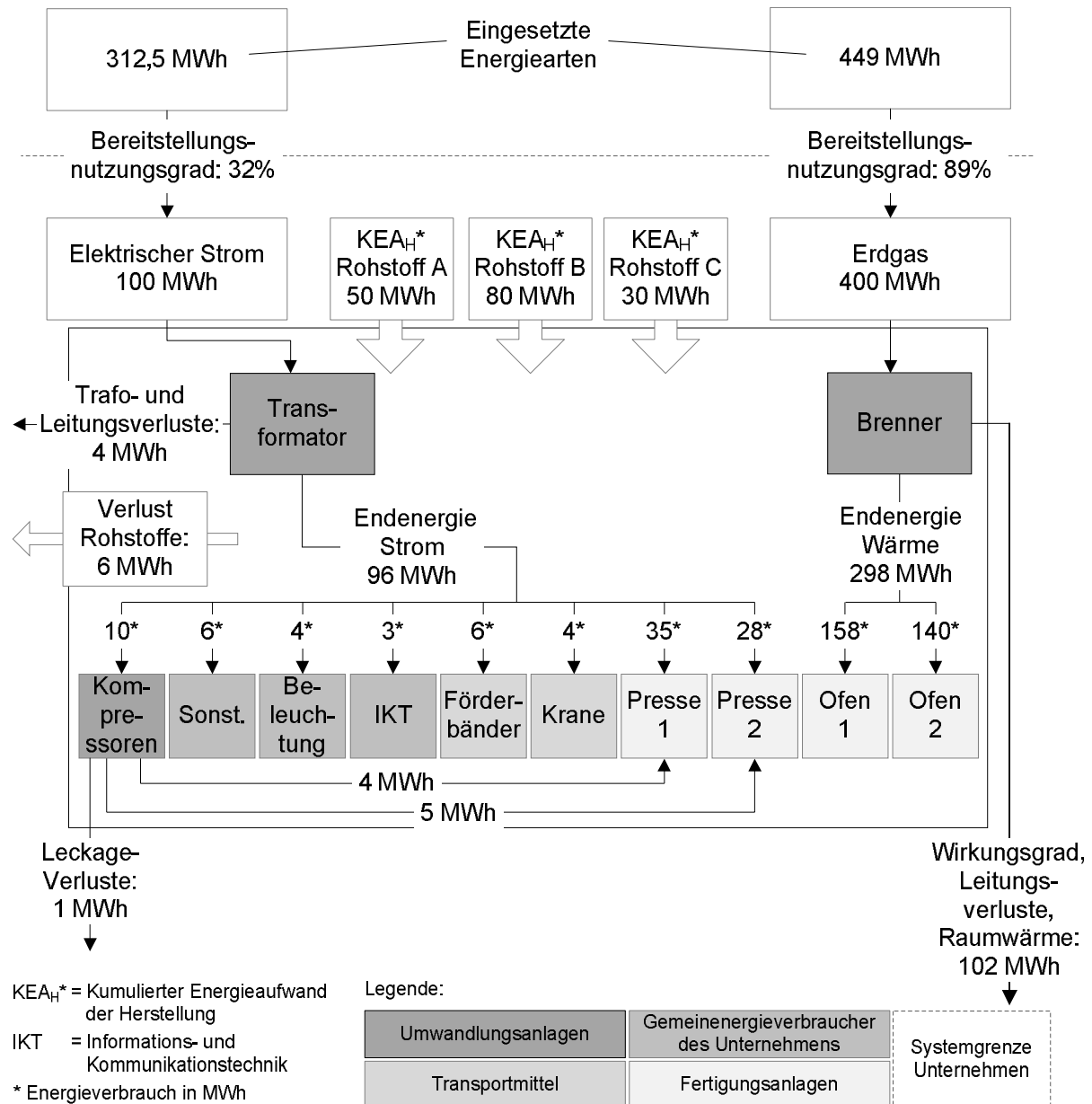


Abbildung 29: Energie- und Ressourcenströme des Beispielunternehmens im betrachteten Monat

Den von den Unternehmen eingesetzten Energiearten (elektrischer Strom und Erdgas) müssten eigentlich die Energieverluste durch Energiebereitstellung und Umwandlung (KEA<sub>H</sub>\*-EB&U) zugeschlagen werden, wie im oberen Teil der Abbildung dargestellt. Um das Fallbeispiel anschaulich zu halten, werden alle Rechnungen mit den von den Energieversorgungsunternehmen genannten Werten für elektrischen



Strom (100 MWh) und Erdgas (400 MWh) durchgeführt. Die Verluste innerhalb des Unternehmens werden jedoch weiterhin berücksichtigt.

### 3.3.2 Bestimmung der $KEA_H^*$ -Werte je Produkt

Im Folgenden werden die produktbezogenen  $KEA_H^P$ -Werte für die Produkte 1 bis 3 bestimmt. Die Energieverbräuche des Unternehmens werden zunächst in das  $KEA_H^*$ -Kennwerteschema eingeteilt. Anschließend erfolgt die Berechnung der Zuschlagsätze und darauf aufbauend die Durchführung der  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation.

#### Einteilung der Energieverbräuche in das $KEA_H^*$ -Kennwerteschema

In Tabelle 9 werden die Energieverbräuche des Unternehmens aus Abbildung 29 nach den Klassifikationsregeln aus Absatz 3.2.2 in das  $KEA_H^*$ -Kennwerteschema übertragen. Die Werte sind getrennt nach Energiearten aufgeführt.

*Tabelle 9: Auflistung der Energieverbräuche des Beispielunternehmens für einen Monat nach der  $KEA_H^*$ -Metrik*

$KEA_H^*$ - Element	Kürzel ( $KEA_H^*$ -)	Betrag in MWh	Beschreibung
<b>Einzelennergieverbräuche</b>			
Einzelennergieverbräuche des Materials A (4)	MEV <sub>A</sub>	48	Ohne Ausschuss
Einzelennergieverbräuche des Materials B (4)	MEV <sub>B</sub>	78	Ohne Ausschuss
Einzelennergieverbräuche des Materials C (4)	MEV <sub>C</sub>	28	Ohne Ausschuss
Einzelennergieverbräuche der Fertigung (1)	FEV <sub>Gas</sub>	238	Öfen
Einzelennergieverbräuche der Fertigung (2)	FEV <sub>Druckluft*</sub>	9	Kompressoren
Einzelennergieverbräuche der Fertigung (3)	FEV <sub>El. Strom</sub>	50	Pressen
<b>Gemeinenergieverbräuche</b>			
Gemeinenergieverbräuche des Materials (4)	MGV <sub>Vorleistungen</sub>	6	Rohstoffverluste
Gemeinenergieverbräuche des Materials (3)	MGV <sub>El. Strom</sub>	10	Förderbänder, Krane
Gemeinenergieverbräuche der Fertigung (1)	FGV <sub>Gas</sub>	60	Durch Ausfallzeiten
Gemeinenergieverbräuche der Fertigung (3)	FGV <sub>Strom</sub>	13	Durch Ausfallzeiten
Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens (1)	GV <sub>Gas</sub>	2	Raumwärme
Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens (3)	GV <sub>Strom</sub>	13	IKT, Licht, Sonstige
Energieverbräuche durch Umwandlung (1)	U <sub>Gas</sub>	100	Verluste Brenner
Energieverbräuche durch Umwandlung (2)	U <sub>Druckluft</sub>	1	Verluste Druckluft
Energieverbräuche durch Umwandlung (3)	U <sub>Strom</sub>	4	Verluste Trafo
<b>Gesamtenergieverbräuche</b>	<b><math>KEA_H^*</math></b>	<b>660</b>	

MWh = Megawattstunden; El. = Elektrischer; IKT = Informations- und Kommunikationstechnologie

\* Angabe der Druckluft entsprechend der MWh elektrischem Strom zu dessen Erzeugung

(1) = Gas

(2) = Verbrauch an el. Strom in MWh, der zur Erzeugung der Druckluftmenge eingesetzt wurde

(3) = Elektrischer Strom

(4) =  $KEA_H^*$ -Wert aus Vorleistungen in MWh

Die  $KEA_H^*$ -Werte der Rohstoffe sind Einzelenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MEV). Rohstoffverluste durch Ausschuss werden ebenso wie die Verbräuche der Transportmittel (Förderbänder und Krane) als Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV) gewertet.

Die Verbräuche der Fertigungsanlagen entsprechen Einzelenergieverbräuchen der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FEV). Deren ungenutzte Energieverbräuche durch Ausfallzeiten zählen zu den Gemeinenergieverbräuchen der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FGV).

Energieverbräuche für Raumwärme, Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnik und sonstige Verbraucher zählen zu den Gemeinenergieverbrauchern des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV).

Energieverbräuche durch Leitungsverluste (Strom, Druckluft und Raumwärme) sowie durch Umwandlung (Transformator und Brenner) werden als Energieverbräuche der Umwandlung ( $KEA_H^*$ -U) gewertet.

Es ergeben sich insgesamt Energieverbräuche im Sinne des  $KEA_H^*$  (also inklusive der Energieverbräuche, die in den Rohstoffen für deren Herstellung, Verpackung und Transport eingebracht worden sind) in Höhe von 660 MWh.

### Differenzierung der Einzelenergieverbräuche nach Produkten

Die differenzierte Betrachtung der Einzelenergieverbräuche des Materials und der Fertigung nach den Produkten 1, 2 und 3 ist durch Messung der Verbräuche an den Anlagen möglich (siehe Abschnitt 4.2). Deren Werte sind in Tabelle 10 aufgeführt.

*Tabelle 10: Differenzierung der Einzelenergieverbräuche nach Produkt*

Kostenart	Kürzel	Produkt 1 (MWh)	Produkt 2 (MWh)	Produkt 3 (MWh)
Einzelenergieverbräuche des Materials (A)	$KEA_H^*$ -MEV <sub>A</sub>	26,4	14,4	7,2
Einzelenergieverbräuche des Materials (B)	$KEA_H^*$ -MEV <sub>B</sub>	23,4	39,0	15,6
Einzelenergieverbräuche des Materials (C)	$KEA_H^*$ -MEV <sub>C</sub>	8,5	3,0	16,5
Einzelenergieverbräuche der Fertigung (1)	$KEA_H^*$ -FEV <sub>Gas</sub>	37,0	88,0	113,0
Einzelenergieverbräuche der Fertigung (2)	$KEA_H^*$ -FEV <sub>Druckluft*</sub>	3,6	3,1	2,3
Einzelenergieverbräuche der Fertigung (3)	$KEA_H^*$ -FEV <sub>El. Strom</sub>	16,2	23,0	10,8

El. = Elektrischer

\* Angabe der Druckluft entsprechend der MWh elektrischem Strom zu dessen Erzeugung

(1) = Gas

(2) = Verbrauch an el. Strom in MWh, der zur Erzeugung der Druckluftmenge eingesetzt wurde

(3) = Elektrischer Strom

### Berechnung der Energiezuschlagssätze

Die Berechnung der Energiezuschlagssätze wird im Folgenden durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Druckluftverbräuche zwar separat betrachtet, jedoch in der Menge des elektrischen Stromverbrauchs angegeben werden, der zur Druckluf-

zeugung notwendig ist. In Tabelle 11 sind die Zuschlagssätze zur Allokation der Gemeinenergieverbräuche aufgeführt.

*Tabelle 11: Zuschlagssätze zur Allokation der Gemeinenergieverbräuche*

Gemeinkostenart	Kürzel	Zuschlagssatz
Materialgemeinenergiezuschlag (4)	KEA <sub>H</sub> *-MGV <sub>Vorleistungen</sub>	3,9%
Materialgemeinenergiezuschlag (3)	KEA <sub>H</sub> *-MGV <sub>El. Strom</sub>	6,5%
Fertigungsgemeinenergiezuschlag (1)	KEA <sub>H</sub> *-FGV <sub>Gas</sub>	25,2%
Fertigungsgemeinenergiezuschlag (3)	KEA <sub>H</sub> *-FGV <sub>El. Strom</sub>	26,0%
Gemeinenergiezuschlag des Unternehmens (1)	KEA <sub>H</sub> *-GV <sub>Gas</sub>	0,7%
Gemeinenergiezuschlag des Unternehmens (3)	KEA <sub>H</sub> *-GV <sub>El. Strom</sub>	17,8%
Umwandlungszuschlagssatz (1)	KEA <sub>H</sub> *-U <sub>Gas</sub>	33,3%
Umwandlungszuschlagssatz (2)	KEA <sub>H</sub> *-U <sub>Druckluft*</sub>	11,1%
Umwandlungszuschlagssatz (3)	KEA <sub>H</sub> *-U <sub>El. Strom</sub>	4,2%

El. = Elektrischer

\* Angabe der Druckluft entsprechend der MWh elektrischem Strom zu dessen Erzeugung

(1) = Zuschlag für Wirkungsgradverluste im Brenner

(2) = Zuschlag für Druckluftverluste in den Leitungen

(3) = Zuschlag für Verluste durch Transformator und Leitungen

(4) = Zuschlag für die Verluste von Rohstoffen, z.B. durch Ausschuss

### Bestimmung der KEA<sub>H</sub>\*-Werte je Produkt durch Anwendung des KEA<sub>H</sub>\*-Zuschlagskalkulationsschemas

Die Zuschlagskalkulation bezogen auf die drei Produkte ergibt sich somit wie in Tabelle 12 dargestellt.

*Tabelle 12: Bestimmung der Selbstenergieverbräuche durch Zuschlagskalkulation im Rahmen der KEA<sub>H</sub>\*-Metrik*

Nr.	KEA <sub>H</sub> *-Art	Kürzel (KEA <sub>H</sub> *-)	Produkt 1 (MWh)	Produkt 2 (MWh)	Produkt 3 (MWh)
1	Einzelenergieverbräuche des Materials	MEV	58,3	56,4	39,3
2	Gemeinenergieverbräuche des Materials (4)	MGV <sub>Rohstoffe</sub>	2,3	2,2	1,5
3	Gemeinenergieverbräuche des Materials (3)	MGV <sub>El. Strom</sub>	3,8	3,7	2,5
4	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (3)	U <sub>El. Strom</sub>	0,2	0,1	0,1
<b>5 = Σ 1 - 4</b>	<b>Materialenergieverbräuche</b>	<b>KEA<sub>H</sub>*-M</b>	<b>64,6</b>	<b>62,4</b>	<b>43,4</b>
6	Fertigungseinzelenergieverbräuche (1)	FEV <sub>Gas</sub>	37,0	88,0	113,0
7	Fertigungsgemeinenergieverbräuche (1)	FGV <sub>Gas</sub>	9,3	22,2	28,5
8	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (1)	U <sub>Gas</sub>	15,4	36,7	47,1
9	Fertigungseinzelenergieverbräuche (2)	FEV <sub>Druckluft</sub>	3,6	3,1	2,3
10	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (2)	U <sub>Druckluft</sub>	0,4	0,3	0,3

Nr.	KEA <sub>H</sub> *-Art	Kürzel (KEA <sub>H</sub> *-)	Produkt 1 (MWh)	Produkt 2 (MWh)	Produkt 3 (MWh)
11	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (3)	U <sub>El.Strom,Druckluft</sub>	0,2	0,1	0,1
12	Fertigungsezelenergieverbräuche (3)	FEV <sub>El. Strom</sub>	16,2	23	10,8
13	Fertigungsgemeinenergieverbräuche (3)	FGV <sub>El. Strom</sub>	4,2	6,0	2,8
14	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (3)	U <sub>El. Strom</sub>	0,9	1,2	0,6
<b>15 = Σ 6 - 14</b>	<b>Fertigungsenergieverbräuche</b>	<b>KEA<sub>H</sub>*-F</b>	<b>87,2</b>	<b>180,6</b>	<b>205,5</b>
<b>16 = 5 + 15</b>	<b>Produktionsenergieverbräuche</b>	<b>KEA<sub>H</sub>*-P</b>	<b>151,8</b>	<b>243,0</b>	<b>248,9</b>
17	Gemeinenergieverbräuche d. Unternehmens (1)	GV <sub>Gas</sub>	0,3	0,7	1,0
18	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (1)	U <sub>Gas</sub>	0,1	0,3	0,4
19	Gemeinenergieverbräuche d. Unternehmens (3)	GV <sub>El. Strom</sub>	4,3	5,8	2,9
20	Zuschlagssatz für Energieumwandlung (3)	U <sub>El. Strom</sub>	0,2	0,2	0,1
21	Energieverbräuche für Transport	T			
<b>22 = Σ 15 - 21</b>	<b>Selbstenergieverbräuche</b>	<b>KEA<sub>H</sub>*</b>	<b>156,7</b>	<b>250,0</b>	<b>253,3</b>

El. = Elektrischer Strom

(1) = Gas

(2) = Verbrauch an el. Strom in MWh, der zur Erzeugung der Druckluftmenge eingesetzt wurde

(3) = elektrischer Strom

(4) = KEA<sub>H</sub>\*-Wert in MWh aus Vorleistungen

### 3.3.3 Interpretation der Ergebnisse des KEA<sub>H</sub>\*-Zuschlagskalkulationsschemas

Die Ergebnisse der Allokation aller Energieverbräuche auf die Produkte mittels KEA<sub>H</sub>\*-Zuschlagskalkulationsschema sind in Abbildung 30 dargestellt.

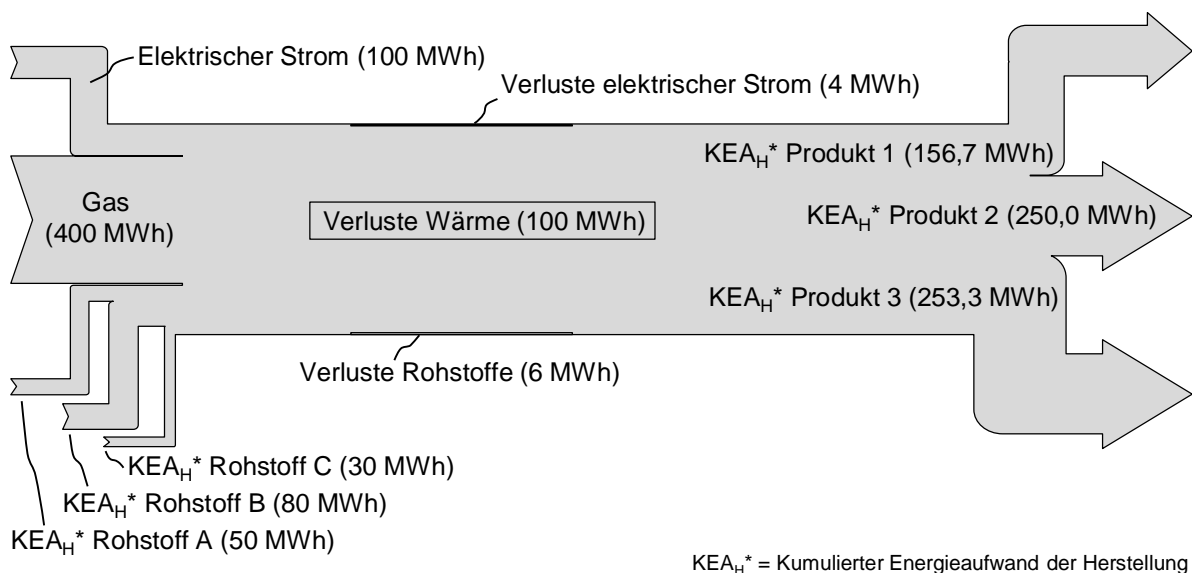


Abbildung 30: Darstellung der KEA<sub>H</sub>\*-Werte der Produkte in einem Sankey-Diagramm

Angelehnt an ein Sankey-Diagramm sind die Energieformen, die in das Unternehmen eingebracht werden, auf der linken Seite dargestellt. Zusätzlich zu den Primärenergieformen Gas und elektrischer Strom sind die  $KEA_H^*$ -Werte der Vorleistungen, also der Rohstoffe A, B und C, eingetragen. Auf der rechten Seite des Diagramms sind die  $KEA_H^*$ -Werte der vom fokalen Unternehmen hergestellten Produkte 1, 2 und 3 eingetragen. Die Breite aller Pfeile ist dabei proportional zum Energiebetrag.

Entscheidend ist, dass die Energieverluste an elektrischem Strom (durch Transformation und Leitung), Gas (durch Wirkungsgradverluste bei der Verbrennung) sowie an Rohstoffen (durch Ausschuss) die Bilanzgrenze nicht verlassen, sondern ebenfalls den hergestellten Produkten zugeschlagen werden.

Somit sind in der an Sankey angelehnten Darstellung der  $KEA_H^*$ -Werte zur rechten Seite nur die Energieverbräuche in Form von produktbezogenen  $KEA_H^*$ -Werten  $KEA_H^{*P}$  dargestellt.

### **3.4 Weiterentwicklungsmöglichkeiten des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas**

Im folgenden Abschnitt werden zunächst Auswirkungen hoher Gemeinenergieverbräuche auf die Ergebnisqualität des  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas betrachtet. Darauf aufbauend werden Weiterentwicklungsmöglichkeiten hin zu einer Prozessenergierechnung vorgeschlagen und skizziert. Abschließend erfolgt die Betrachtung von Möglichkeiten durch die Überführung der Ergebnisse einer  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation im Rahmen der Kostenrechnung.

#### **3.4.1 Schwächen des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas**

Das  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema ist ein leicht anzuwendendes, nachvollziehbares Instrument, um sämtliche Energieverbräuche eines Unternehmens den hergestellten Produkten zuzuordnen. Durch Differenzierung können die Verbräuche des Unternehmens in beliebiger Feinheit verrechnet werden.

Allerdings belastet die proportionale Zuschlüsselung von Gemeinenergieverbräuchen durch Zuschlagssätze auf Basis direkt zuordenbarer Einzelenergieverbräuche ( $KEA_H^*$ -MEV bzw.  $KEA_H^*$ -FEV) die  $KEA_H^*$ -Werte der Produkte nicht notwendigerweise immer verursachungsgerecht. In der schematischen Darstellung in Abbildung 31 ist diese Proportionalisierung erkennbar. Hohe Einzelenergieverbräuche werden mit hohen Gemeinenergieverbräuchen beaufschlagt, niedrige mit entsprechend niedrigen.

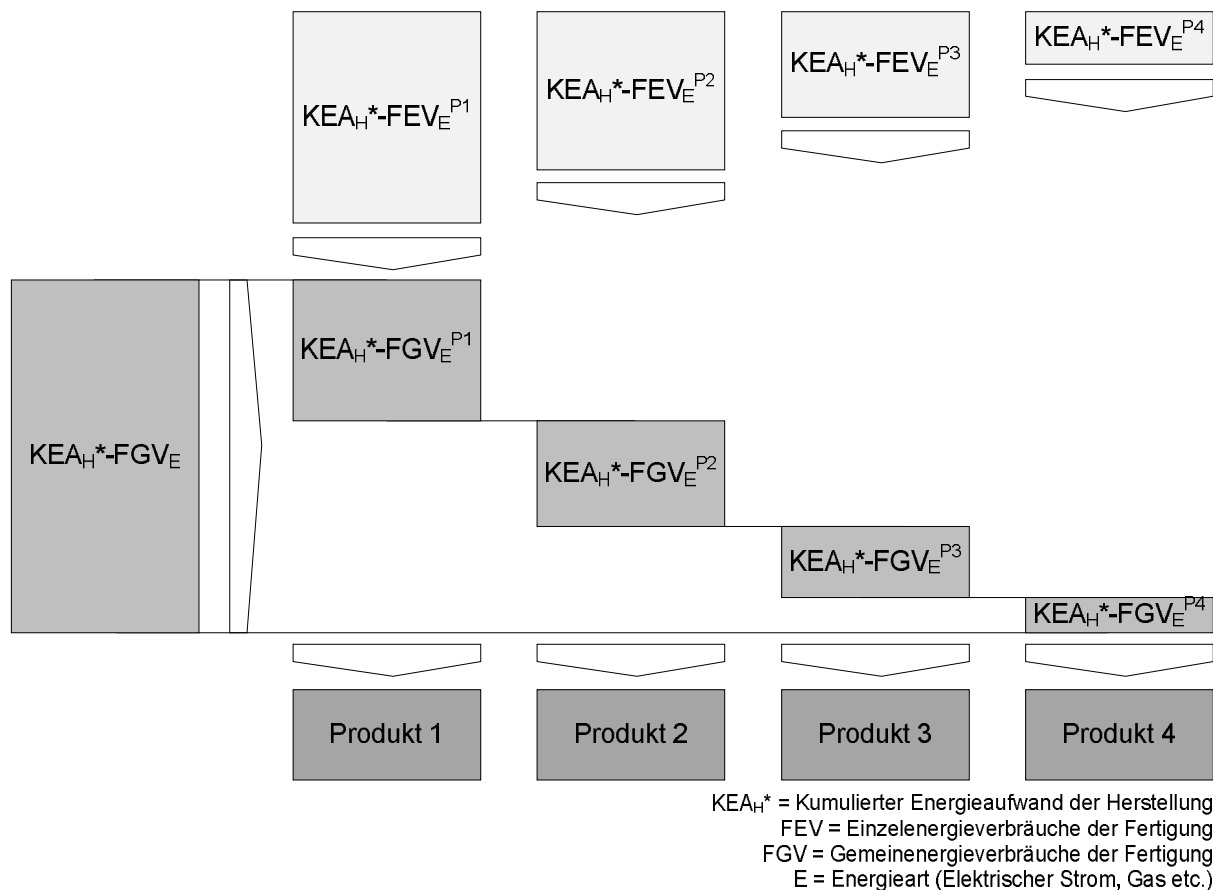


Abbildung 31: Proportionalisierung der Gemeinenergieverbräuche durch die  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation

Insbesondere die mitunter hohen Zuschlagssätze der Gemeinenergieverbräuche der Fertigung ( $KEA_H^* - FGV$ ), etwa bedingt durch häufiges Rüsten, belasten lang laufende Fertigungslose, die eigentlich nur geringe Gemeinenergieverbräuche der Fertigung verursachen. Der  $KEA_H^*$ -Wert von Kleinserien wird hingegen entlastet. In der Folge entsteht eine verzerrte Bewertung, die sich beim Vergleich des Kunden mit den  $KEA_H^*$ -Werten der Produkte anderer Unternehmen negativ auswirken kann.

Auch die in Absatz 3.2.2 beschriebene Bewertungsvorschrift von recycelten Materialien ist problematisch. Eine Bewertung der auf der Erde zur Verfügung stehenden, erschließbaren Menge an Rohstoffen fließt gegenwärtig nicht in die Energie-Controlling-Methodik ein. Für den Fall, dass ein Recyclingvorgang inklusive aller Transporte mehr Energie verbraucht als die Gewinnung von neuem Rohmaterial, entsteht folglich kein Anreiz zum Recycling, obwohl es aus Ressourcensicht sinnvoll wäre.

### 3.4.2 Instrumente zur verursachungsgerechten Verteilung von Gemeinenergieverbräuchen

Im Folgenden wird zunächst das Instrument einer Prozessenergierechnung zur verursachungsgerechteren Verteilung von Gemeinenergieverbräuchen vorgestellt. Im Anschluss wird mit der Prozessorientierten Energiefließsystemrechnung ein weiteres Instrument zur Betrachtung von Gemeinenergieverbräuchen skizziert.

#### Prozessenergierechnung in Anlehnung an die Prozesskostenrechnung

Die Entwicklung einer Prozessenergierechnung in Analogie zur Prozesskostenrechnung ([67]) kann zur Lösung der Problemstellung beitragen. Es wird eine Reduzierung der Schlüsselung von Gemeinenergieverbräuchen erreicht, indem diese den verursachenden Prozessen (bzw. Produkten) direkt zugeordnet werden. Parallel dazu werden durch eine Prozessenergierechnung versteckte Energieverbräuche sichtbar gemacht, die bei den  $KEA_H^*$ -Kennwerten auf Basis einer Zuschlagskalkulation durch die Verwendung von Zuschlagssätzen verdeckt (und folglich falsch allokiert) bleiben würden.

Die Durchführung einer Prozessenergierechnung ist nicht für alle Gemeinenergieverbräuche sinnvoll. Sie sollte sich auf wesentliche Energieeinsatzbereiche beschränken. Hierzu zählen insbesondere die Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV) und der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FGV). In Abbildung 32 werden in diesem Sinn Elemente einer möglichen Prozessenergierechnung mit den Werten des  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas gegenübergestellt.

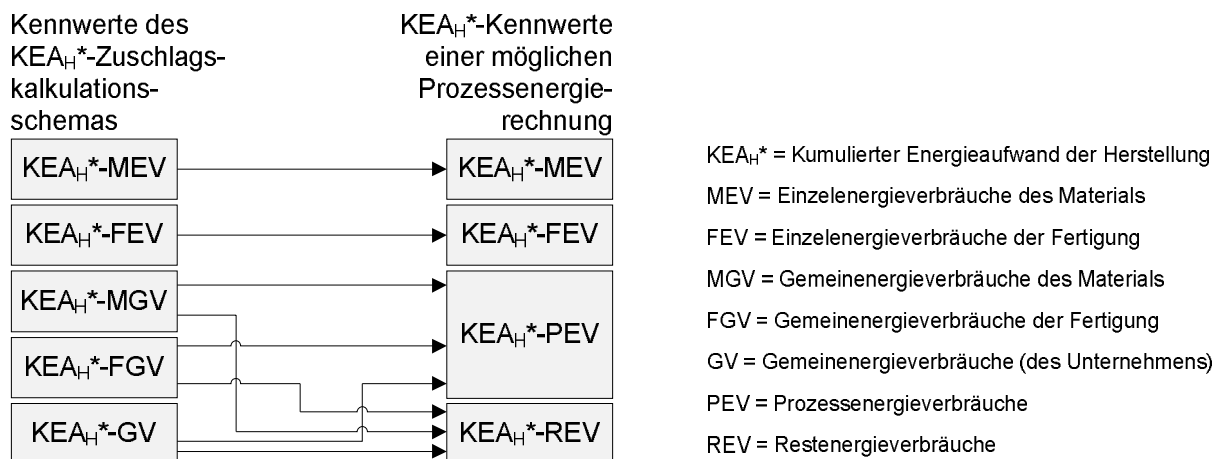


Abbildung 32: Gegenüberstellung der  $KEA_H^*$ -Kennwerte mit denen einer möglichen Prozessenergierechnung (vgl. [63])

Größere und sinnvoll zuordenbare Posten der Gemeinenergieverbräuche des Materials, der Fertigung und des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV) werden mittels Prozessenergierechnung ( $KEA_H^*$ -PEV) direkt zugeordnet. Verbleibende Gemeinenergieverbräuche werden in Restenergieverbräuche ( $KEA_H^*$ -REV) überführt, die

prozentual zu Basis entsprechender Einzelenergieverbräuche oder pauschal zu Basis der Energieverbräuche der Produktion ( $KEA_H^*-P$ ) zugeschlagen werden.

### Weiterentwicklung zu einer Prozessorientierten Energiefließsystemrechnung

Um die Zuordnung von Energieverbräuchen zu Produkten noch verursachungsgerechter zu gestalten, wird mit der Prozessorientierten Fließsystemkostenrechnung (PFK) erneut ein analoges Instrument aus dem Bereich der Kostenrechnung herangezogen (vgl. auch [151]). Die PFK vermeidet durch scharfe Trennung der Kosten nach dem strengen Kriterium der Ressourceninanspruchnahme, dass die Kosten nicht ausgelasteter Kapazitäten die Prozesskosten eines Produkts beeinflussen. Somit ist die willkürliche Behandlung von Gemeinkosten nicht mehr möglich. [152] Die Übertragung dieser Logik auf eine Prozessorientierte Energiefließsystemrechnung ist in Abbildung 33 dargestellt.

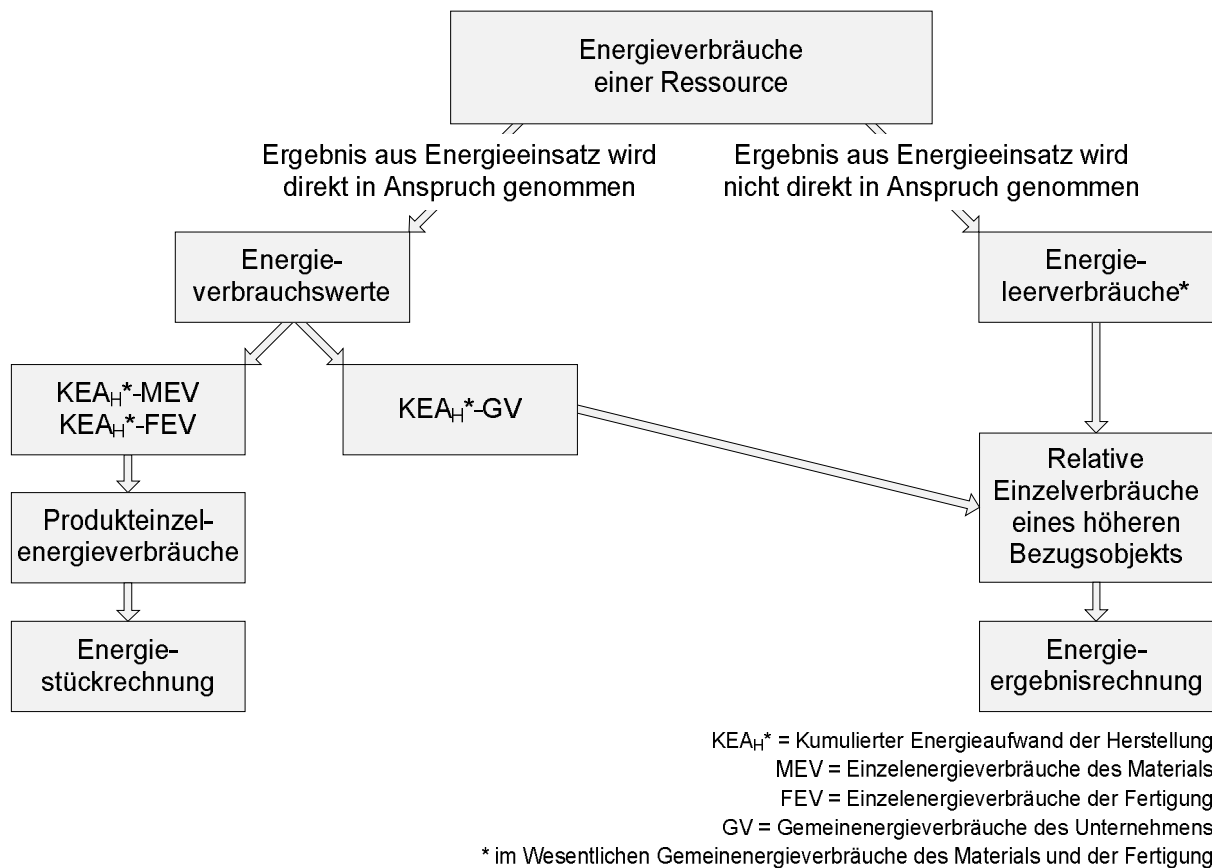


Abbildung 33: Energieverbräuche im Modell der PFK (in Anlehnung an [152])

Die Energieverbräuche einer Ressource werden danach unterteilt, ob das Ergebnis aus dem Energieeinsatz direkt in Anspruch genommen wird oder nicht. Nicht direkt in Anspruch genommene Ergebnisse des Energieeinsatzes (rechter Zweig) sind bspw. Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*-MGV$ ) und der Fertigung ( $KEA_H^*-FGV$ ), also etwa Energieverbräuche, die bei der Maschinenwartung verursacht



werden. Diese Verbräuche werden als relative Einzelenergieverbräuche einem höheren Bezugsobjekt zugeordnet. Zur direkten Inanspruchnahme (linker Zweig) zählen im Wesentlichen Einzelenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MEV) und der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FEV). Um die Analogie zu wahren, zählen auch Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV), etwa Energieverbräuche für Beleuchtungszwecke, in diesen Zweig. Sie werden jedoch ebenfalls in den rechten Zweig zu einem höheren Bezugsobjekt zugeordnet. Die Einzelenergieverbräuche (linker Zweig) können direkt in eine Energiestückrechnung eingehen, die relativen Einzelenergieverbräuche (rechter Zweig) in eine Energieergebnisrechnung.

### **3.4.3 Verwendungsmöglichkeiten des $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschemas in der Kostenrechnung**

Die Betrachtung von Energiekosten ist nicht der originäre Zweck der Energie-Controlling-Methodik. Dennoch kann die  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulation einen Beitrag dazu leisten, die Energiekosten im Rahmen der Kostenrechnung verursachungsgerechter auf Produkte (Kostenträger) zuzuordnen. Hierdurch können

- fundierte Erfolgsrechnungen von Produkten ermöglicht,
- genauere Preisuntergrenzen für Verhandlungen ermittelt,
- Investitionsentscheidungen für Energieeffizienzmaßnahmen unterstützt,
- detailliertere Kostenanalysen durchgeführt sowie
- monetär bewertete Zielsetzungen von Energieeffizienzmaßnahmen gesteuert

werden.

Gerade für Unternehmen aus Branchen mit einem hohen Preisdruck wird es bei steigenden Energiekosten immer wichtiger, eine verursachungsgerechte Energiekostenverteilung durchzuführen. Andernfalls besteht die Gefahr, Produkte zu günstig oder zu teuer anzubieten. Das Verhältnis von Energiekosten zu Gesamtkosten bestimmt dabei entscheidend den Erkenntnisgewinn, der durch eine differenzierte Energiekostenrechnung erreicht werden kann (s. auch [151]).

In Tabelle 13 und Tabelle 14 sind exemplarisch Deckungsbeitragsrechnungen für das fokale Unternehmen aufgeführt. Bei Deckungsbeitragsrechnungen entsprechen die Differenz aus den Erlösen und den variablen Kosten dem Deckungsbeitrag, welcher zur Finanzierung der Fixkosten des Unternehmens und zum Erzielen von Gewinnen dient. Im ersten Fall (Tabelle 13) wurden die Energieverbräuche mittels  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema differenziert auf die Produkte 1, 2 und 3 aufgeteilt und mit den jeweiligen Kostensätzen der Energiearten verrechnet. Im zweiten Fall (Tabelle 14) wurden die Energiekosten nicht differenziert betrachtet. Der gesamte Energiekostenblock wurde entsprechend der Umsatzverteilung der Produkte anteilig zugeordnet.

**Tabelle 13:** Deckungsbeitragsrechnung mit differenzierten Energiekosten durch KEA<sub>H</sub>\*-Zuschlagskalkulation am fokalen Unternehmen für ein Jahr

Deckungsbeitragsrechnung (alle Werte in TEUR)	Gesamt	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
<b>Umsatzerlöse</b>	<b>4.841</b>	<b>1.670</b>	<b>1.295</b>	<b>1.876</b>
/./ Materialeinzelkosten	1.480	572	363	545
/./ Variable Materialgemeinkosten	156	54	43	59
/./ Fertigungseinzelkosten	994	341	262	391
/./ <i>Einzelergiekosten der Fertigung</i>	318	69	126	123
<b>= Deckungsbeitrag I</b>	<b>1.893</b>	<b>634</b>	<b>501</b>	<b>758</b>
/./ Sonstige betriebliche Aufwendungen	993	336	272	385
/./ <i>Gemeinenergiekosten des Materials und der Fertigung</i>	96	23	38	35
<b>= Deckungsbeitrag II</b>	<b>804</b>	<b>275</b>	<b>191</b>	<b>338</b>
/./ Vertriebs- und Verwaltungsaufwendungen	177	59	51	67
/./ <i>Gemeinenergiekosten des Unternehmens</i>	26	6	10	10
<b>= Deckungsbeitrag III</b>	<b>601</b>	<b>210</b>	<b>130</b>	<b>261</b>
<b>Deckungsbeitrag III</b>	<b>12,4%</b>	<b>12,6%</b>	<b>10,0%</b>	<b>13,9%</b>

**Tabelle 14:** Deckungsbeitragsrechnung mit Energiekostenverteilung nach Umsätzen

Deckungsbeitragsrechnung (Alle Werte in TEUR)	Gesamt	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
<b>Umsatzerlöse</b>	<b>4.841</b>	<b>1.670</b>	<b>1.295</b>	<b>1.876</b>
/./ Materialeinzelkosten	1.480	572	363	545
/./ Variable Materialgemeinkosten	156	54	43	59
/./ Fertigungseinzelkosten	994	341	262	391
<b>= Deckungsbeitrag I</b>	<b>2.211</b>	<b>703</b>	<b>627</b>	<b>881</b>
/./ Sonstige betriebliche Aufwendungen	993	336	272	385
/./ <i>Energiekosten</i>	440	152	118	171
<b>= Deckungsbeitrag II</b>	<b>778</b>	<b>215</b>	<b>237</b>	<b>325</b>
/./ Vertriebs- und Verwaltungsaufwendungen	177	59	51	67
<b>= Deckungsbeitrag III</b>	<b>601</b>	<b>156</b>	<b>186</b>	<b>258</b>
<b>Deckungsbeitrag III in Prozent</b>	<b>12,4%</b>	<b>9,4%</b>	<b>14,3%</b>	<b>13,8%</b>

Dass eine differenzierte Energiekostenrechnung bei energieintensiven Unternehmen sinnvoll sein kann, wird durch die Darstellung der Deckungsbeiträge aus Tabelle 13 und Tabelle 14 in Abbildung 34 verdeutlicht.

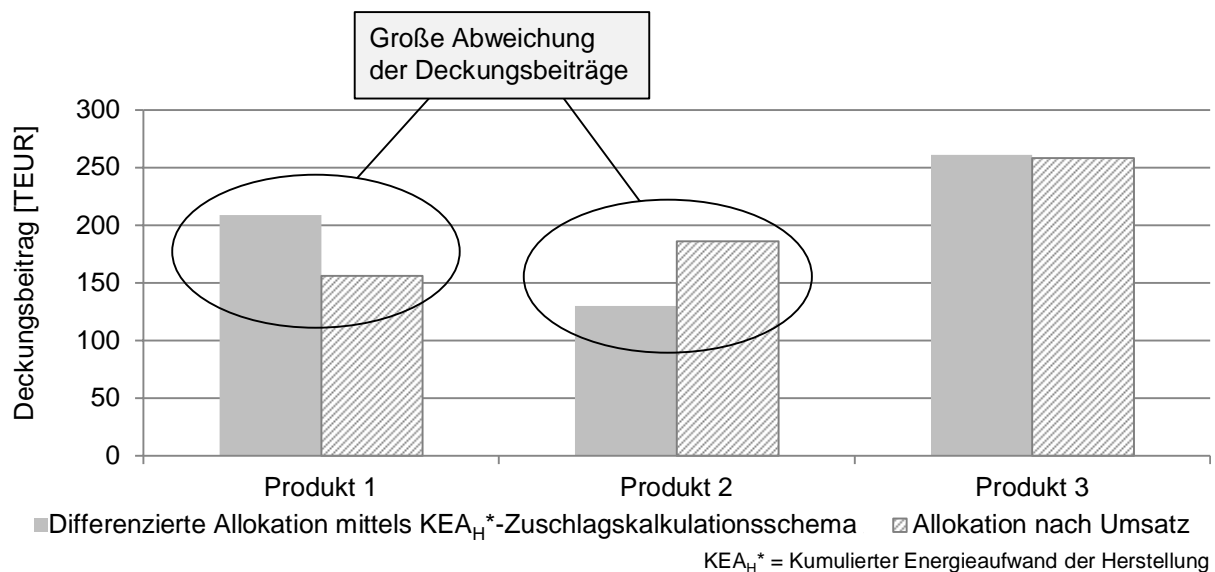


Abbildung 34: Deckungsbeiträge der Produkte in Abhängigkeit der Zuordnung der Energiekosten

Die grauen Vollsäulen zeigen die Deckungsbeiträge der Produkte nach differenzierter  $KEA_H^*$ -Allokation. Die schraffierten Säulen zeigen die Deckungsbeiträge der Produkte bei einer Energiekostenallokation nach Umsatzanteilen. Für Produkt 1 und Produkt 2 ergibt sich eine große Abweichung der Deckungsbeiträge.

Die Energiekosten können darüber hinaus um Elemente der energierelevanten Kosten ergänzt werden, die über die reinen Energiebezugskosten hinausgehen. Hierzu zählen z.B. Personalkosten für Betrieb und Instandhaltung von Energieanlagen, Abschreibungen für Umwandlungs- und Verteilungsanlagen oder sonstige energiebezogene Nebenkosten. [153] Da diese jedoch erst in höhere Ebenen der Deckungsbeitragsrechnungen eingehen, ist nur ein geringer Einfluss auf das Ergebnis zu erwarten.

In Abbildung 35 ist zusammenfassend dargestellt, wie die Energiekosten im Rahmen der Kostenrechnung behandelt werden können. Die eingesetzten Primärenergiearten werden nach etwaiger Umwandlung in andere Energieformen von den Anlagen verbraucht. Umwandlungsverluste werden den Verbrauchern anteilig zugeschlagen.

Die Multiplikation mit den Energiebezugskosten führt zu einer monetären Bewertung der Energieverbräuche.

Durch Überführung der differenzierten Energiekosten nach dem  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema in das Kostenrechnungssystem können Preisuntergrenzen oder Erfolgsrechnungen genauer bestimmt werden.

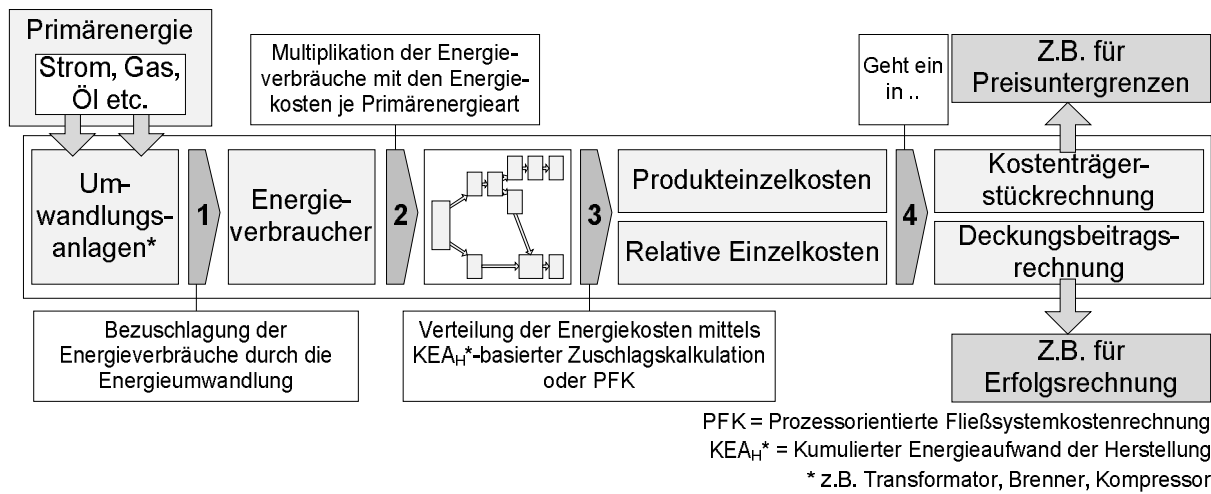
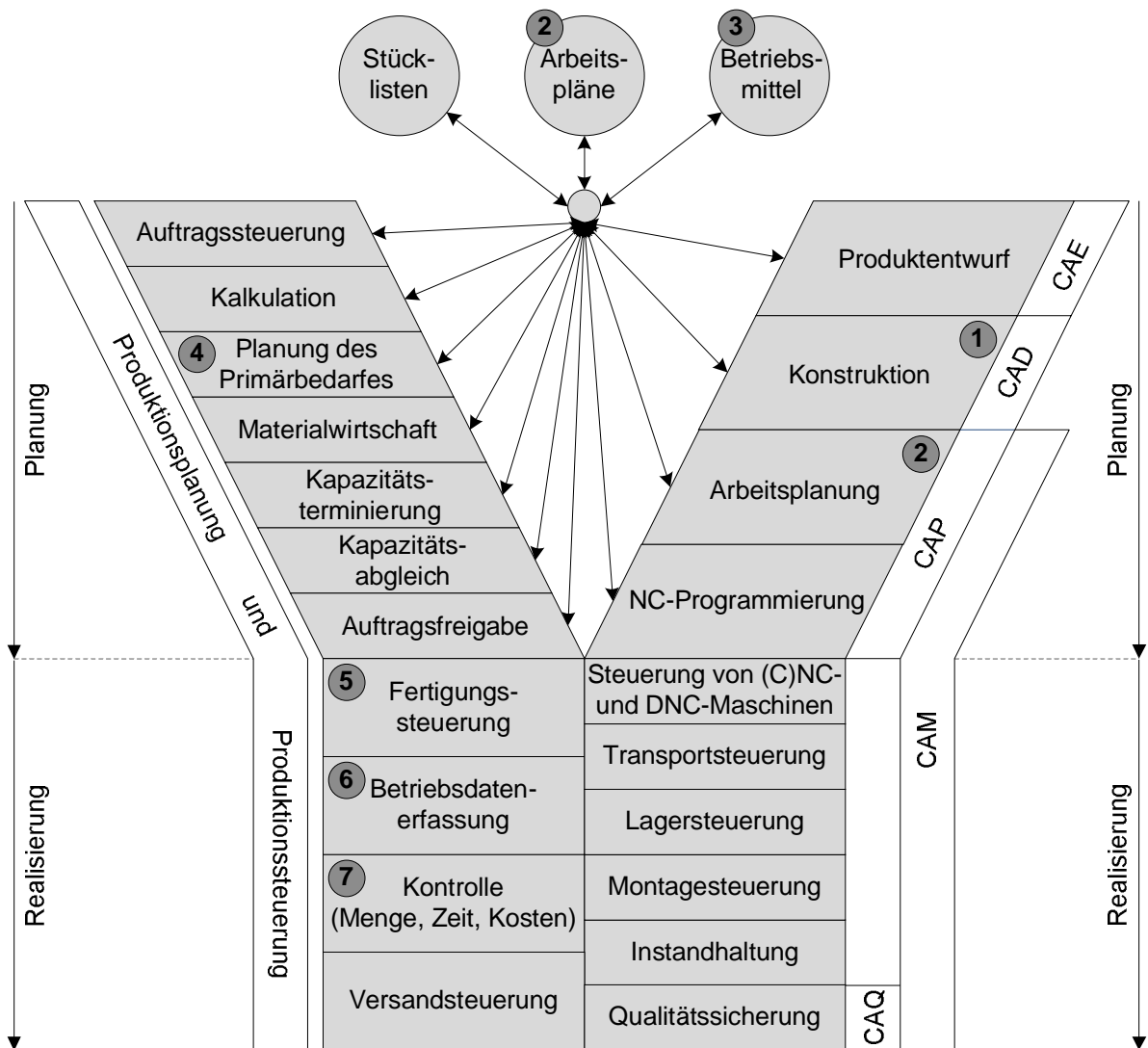


Abbildung 35: Vorgehensmodell bei der Zuordnung von Energiekosten

## 4 Energie-Controlling auf Basis des KEAH\*-Kennwerteschemas

Der Kennwert KEAH\* inklusive des zugehörigen Kennwerteschemas ist die Grundlage für die Energie-Controlling-Methodik, welche in folgendem Kapitel beschrieben wird. Die Vorgehensweise ist dabei anhand des Y-CIM-Modells nach Scheer [154] dargestellt (Abbildung 36).



- 1: Ableitung der Energieverbräuche im Rahmen der Konstruktion (Abschnitt 4.1)
- 2: Überführung der Energie-Planwerte in die Arbeitspläne (Abschnitt 4.1)
- 3: Erweiterung der Stammdaten um Energiewerte (Abschnitt 4.1)
- 4: Energieverbrauchsplanung für die Energiebeschaffung (Abschnitt 4.1)
- 5: Abgleich des Plan-Energiebedarfs mit dem Energieangebot (Abschnitt 4.1)
- 6: Messung von Energieverbräuchen und Verknüpfung mit den Elementen des KEAH\*-Kennwerteschemas (Abschnitt 4.2)
- 7: Gegenüberstellung von geplanten mit tatsächlichen Verbräuchen (Abschnitt 4.3)

CAE = Computer-Aided Engineering  
 CAD = Computer-Aided Design  
 CAP = Computer-Aided Process Planning  
 CAM = Computer-Aided Manufacturing  
 CAQ = Computer-Aided Quality  
 CNC = Computerized Numerical Control  
 DNC = Direct Numerical Control  
 KEAH\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

Abbildung 36: Darstellung der Inhalte aus Kapitel 4 anhand des Y-CIM Modells (nach [154])

In Abschnitt 4.1 wird beschrieben, wie zukünftige Energieverbräuche auf Basis des KEA<sub>H</sub>\*-Kennwerteschemas im Rahmen der Produktentwicklung bzw. Konstruktion (1) geplant und die Energieplanwerte anschließend in Arbeitspläne der Produktion überführt werden, (2) und dabei eine Erweiterung der Stammdaten erfolgen kann (3). Dabei wird ebenfalls darauf eingegangen, inwiefern die Energieplanwerte für die Energiebeschaffung (4) und die Fertigungssteuerung relevant sind (5). In Abschnitt 4.2 werden Möglichkeiten zur Messung von Energieverbräuchen inklusive der Verknüpfung mit den entsprechenden Produktionsmengen beschrieben (6). In Abschnitt 4.3 werden schließlich Instrumente der Kontrolle und Steuerung erläutert (7). Dabei wird auch die Berichterstattung im Rahmen des Energie-Controllings sowie auf das interne und externe Energie-Benchmarking eingegangen.

Die Inhalte des Kapitels und insbesondere die eingeführten Methoden werden durch Anwendung an einem Beispielunternehmen vertieft.

### **4.1 Planung von Energieverbräuchen auf Basis des KEA<sub>H</sub>\*-Kennwerteschemas**

Im Rahmen der Energieplanung unter Verwendung des KEA<sub>H</sub>\*-Kennwerteschemas muss das fokale Unternehmen die KEA<sub>H</sub>\*-Werte der in einer kommenden Planungsperiode zu produzierenden Produkte vorherbestimmen. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Einzelenergieverbräuche des Materials (KEA<sub>H</sub>\*-MEV) und der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-FEV) gelegt werden. Die Vorgehensweise bei deren Planung wird in Absatz 4.1.1 beschrieben. Absatz 4.1.2 behandelt Instrumente zur Planung der Gemeinenergieverbräuche (vgl. hierzu auch [155]). Schließlich erfolgen in Absatz 4.1.3 eine zusammenfassende Bewertung sowie ein Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten der Planungsergebnisse.

#### **4.1.1 Planung von Einzelenergieverbräuchen des Materials und der Fertigung**

Im folgenden Absatz wird beschrieben, wie die Planung der Einzelenergieverbräuche des Materials und der Fertigung im Rahmen der Arbeitsplanung funktionieren kann. Zuletzt wird dargestellt, wie die Planwerte in den Arbeitsplan der Produktion überführt werden können.

##### **Planung der Einzelenergieverbräuche des Materials (KEA<sub>H</sub>\*-MEV)**

Die Einzelenergieverbräuche des Materials (KEA<sub>H</sub>\*-MEV), also die Energieverbräuche, die für die Erstellung von Zukaufteilen eingesetzt wurden, werden von den Zulieferern ermittelt. Sie werden stückbezogen angegeben und können somit über ein ERP- bzw. ein CAD-System direkt in das Konstruktionsprogramm und schließlich in den Stammdatensatz importiert werden.

### Planung der Einzelenergieverbräuche der Fertigung (KEAH\*-FEV)

Zur Planung der Einzelenergieverbräuche der Fertigung (KEAH\*-FEV) können verschiedene Instrumente eingesetzt werden. Hierzu zählen etwa Berechnungs- und Simulationsverfahren auf Prozess-, Anlagen- oder Werksebene (siehe unter anderem [113; 110; 156] bzw. Absatz 2.3.3).

Eine weitere Möglichkeit zur Planung von Einzelenergieverbräuchen der Fertigung besteht durch Anwendung des Systems vorbestimmter energetischer Minima (System of Predetermined Energetic Minimums – SPEM). Das SPEM basiert auf einem Schalenmodell von Vergleichsprozessen, welches zwischen physikalischen, technologischen und realen Energieverbrauchsminima unterscheidet. Diese Benchmark-Werte werden im Rahmen wissenschaftlicher Studien ermittelt und in einen Katalog überführt [157; 158; 159; 160].

Für die Energieverbrauchsplanung von Fertigungsanlagen ist insbesondere auch das Methods-Energy Measurement ([106; 108] bzw. Absatz 2.3.3) sehr gut geeignet, mittels dessen sich prinzipiell alle Einzelenergieverbräuche aus einzelnen grundlegenden Energiebausteinen der Fertigungsanlagen aufsummieren lassen. Für Normbauteile bzw. Standardgeometrien lassen sich diese Werte (ebenfalls) in einen (Stammdaten-)Katalog überführen. Im Rahmen der Arbeitsplanung kann auf diese Stammdaten zurückgegriffen werden, um die Energieverbräuche der Fertigung in Abhängigkeit der Gestaltungsmerkmale zu planen.

In Abbildung 37 ist exemplarisch die technische Zeichnung einer Welle mitsamt Planwerten der Energieverbräuche für die Fertigung der groben Wellengeometrie sowie von Passfedernut, Freistichen und Außengewinde dargestellt. Der Fertigungseinzelenergieverbrauch dieser Komponente  $KEAH^*FEV_{\text{Welle}}$  ergibt sich aus der Summe der Einzelenergieverbräuche und entspricht in diesem Beispiel 63,614 Wh.

$$KEAH^*FEV_{\text{Welle}} = \text{Grobgeometrie} + \text{Passfedernut} + \text{Freistich} + \text{Freistich} + \text{Außengewinde} = 63,614 \text{ Wh}$$

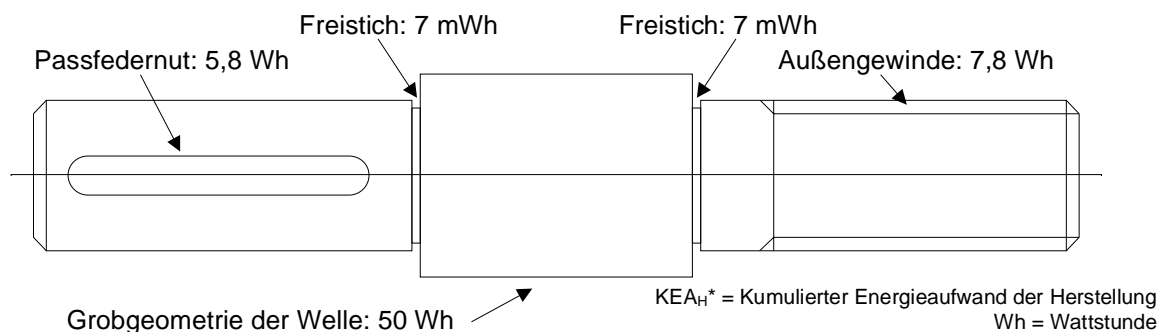


Abbildung 37: Ermittlung des Energieverbrauchs verschiedener Fertigungsschritte durch den SPEM-Katalog am Beispiel einer Welle (nach [160])

## Überführung der Energie-Planwerte in den Arbeitsplan

Die Arbeitsplanung klärt, aus welchem Material, nach welchem Verfahren, in welcher Folge, mit welchen Betriebsmitteln und in welcher Zeit Produkte hergestellt werden. Als einer der wichtigsten Informationsträger der Produktion (neben den Werkstückzeichnungen) ist der Arbeitsplan das wesentliche Ergebnis der Arbeitsplanung. Er enthält allgemeine Daten des Bauteils, Details über den Arbeitsvorgang sowie Felder zur Authentifizierung und Gültigkeit des Arbeitsplans. [161] Der Arbeitsplan eignet sich somit in idealer Weise als Informationsträger für die Energieplanwerte. Tabelle 15 stellt einen schematischen Arbeitsplan in Anlehnung an die REFA-Methodenlehre dar (aus [161]), der um eine Spalte für Energie-Planwerte ergänzt ist.

**Tabelle 15:** Schematische Darstellung eines Arbeitsplans (aus [161]), ergänzt um eine Spalte für Energie-Planwerte

Arbeitsplan		Auftragsmenge	...	Menge je Los	Los-Nr.	Auftragsart	Auftragsnummer
		...	...	...	...	...	...
Bezeichnung des Produkts		Teilefamilie	...	Ausgangsmaß (mm)		Zeichnungsnummer	
Stirnrad 50 CrV 4		04 166	...	95 X 38		8.25.4.597	
Materialbezugshinweis		Materialfamilie	...	Bezeichnung Material		Ausgangsgewicht	
...		50 CrV 4	...	Rundstahl 95D17200		2,1 kg	
Vorgang Nr.	Beschreibung	Betriebsmittel	...	Lohngruppe	Rüstzeit je Los [min]	Bearbeitungszeit je Einheit [min]	Energieverbrauch [Wh]
10	Trennsägen	310	...	04	10	1,35	...
20	Vordrehen	320	...	08	55	4,35	...
30	Fertigdrehen	320	...	08	65	2,35	...
...	...	...	...	...	...	...	...
Erstellt	Geprüft	Zuständig	...	Geändert	Gültig ab	Kostenträger	Arbeitsplan-Nr.
...	...	...	...	...	...	...	...

Zur Planung künftiger Energieverbräuche sollten zudem auch (Energie-) Produktivitätssteigerungen berücksichtigt werden.

### 4.1.2 Planung von Gemeinenergieverbräuchen des Materials, der Fertigung und des Unternehmens

Im Folgenden werden Verfahren zur Planung von Gemeinenergieverbräuchen beschrieben (vgl. hierzu auch [155]). Neben der Planung der Einzelenergieverbräuche werden im Rahmen des Energie-Controllings auch die Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV), der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FGV) und des Unternehmens



(KEA<sub>H</sub>\*-GV) geplant. Bei den Gemeinenergieverbräuchen ist es zweckmäßig, historische Daten zugrunde zu legen. Liegen diese vor, kann mittels Fortschreibung durch Zeitreihenextrapolation oder historischer Durchschnittsverbräuche geplant werden. Liegen diese nicht vor, können Benchmark-Werte, Herstellerangaben oder gegebenenfalls Kurzzeitmessungen eine erste Datengrundlage bilden.

Die Energieplanung durch Zeitreihenextrapolationsverfahren auf Basis von Vergangenheitswerten eignet sich besonders für die Anwendung von Gemeinenergiverbräuchen des Unternehmens (KEA<sub>H</sub>\*-GV), da deren Wert nur geringfügig von der Produktionsmenge abhängig ist.

Beim Zeitreihenextrapolationsverfahren werden die charakteristischen Verbrauchsmuster vergangener Perioden möglichst genau abgebildet und in die Zukunft fortgeschrieben.

Durch einfache Mittelwertbildung von zwei aufeinanderfolgenden Verbrauchswerten erhält man den gleitenden Durchschnitt. Das sich ergebende Verbrauchsprofil einer sich potenziell wiederholenden Planungsperiode (z.B. ein Kalenderjahr) wird in die Zukunft fortgeschrieben. Während diese Abbildungsform einfach anzuwenden ist, werden zyklische, konjunktur- oder trendbedingte Änderungen nicht berücksichtigt. Die generierten Planwerte eignen sich also maßgeblich für die Planung konstanter Verbräuche.

Komplexere Zusammenhänge lassen sich mittels Regressionsanalyse darstellen. Bei der additiven Regressionsanalyse der Zeitreihenzerlegung werden eine Trendkomponente  $A$ , eine Saisonkomponente  $S$  und eine Konjunkturkomponente  $K$  addiert. Der Prognosewert  $Y$  für einen Monat  $t$  ergibt sich somit zu:

$$Y_t = A_t + S_t + K \quad (4.1)$$

Im oben genannten Fallbeispiel wurde ein lineares Modell für die Trendkomponente  $A$  gewählt. Mit dem Grundwertparameter  $\alpha$  und dem Trendparameter  $\beta$  folgt:

$$A_t = \alpha + \beta \cdot t \quad (4.2)$$

Der Wert der Saisonkomponente  $S$  ergibt sich mit dem Monatskoeffizienten  $\gamma_n$  zu

$$S_t = \sum_{n=1}^{12} \gamma_n \cdot \delta_n(t) \text{ mit } \delta_n(t) = \begin{cases} 1 & \text{falls } n = t \bmod 13 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (4.3)$$

Aufgrund des kurzen Betrachtungszeitraums wurde die Konjunkturkomponente  $K$  im Fallbeispiel mit dem Wert Null bestimmt.

Die Ergebnisse der beiden Extrapolationsverfahren mit Daten des fokalen Unternehmens sind exemplarisch in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellt.

Hierbei wurden auf Grundlage der Jahre 2008 bis 2012 die Gemeinenergieverbräuche (elektrischer Strom) eines Werks für das Jahr 2013 prognostiziert.

Es ist zu erkennen, dass die Prognosen den tatsächlichen Verlauf gut abbilden. Insgesamt liegt die Regressionsanalyse rückblickend betrachtet näher an den realen Werten. Aus Sicht des Jahres 2014 hätte das Ausbleiben der saisontypischen Verbrauchsspitze im August 2013 jedoch von keiner der beiden Varianten korrekt antizipiert werden können, was die Schwachstelle der reinen Zeitreihenextrapolation offenbart.

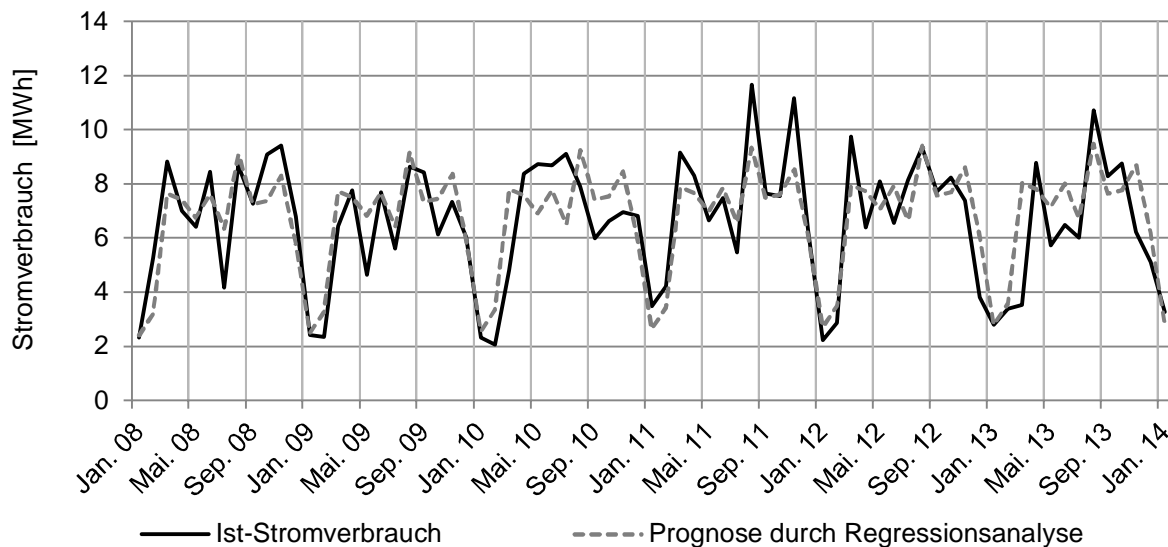


Abbildung 38: Energieplanung durch Zeitreihenextrapolation (Regressionsanalyse)

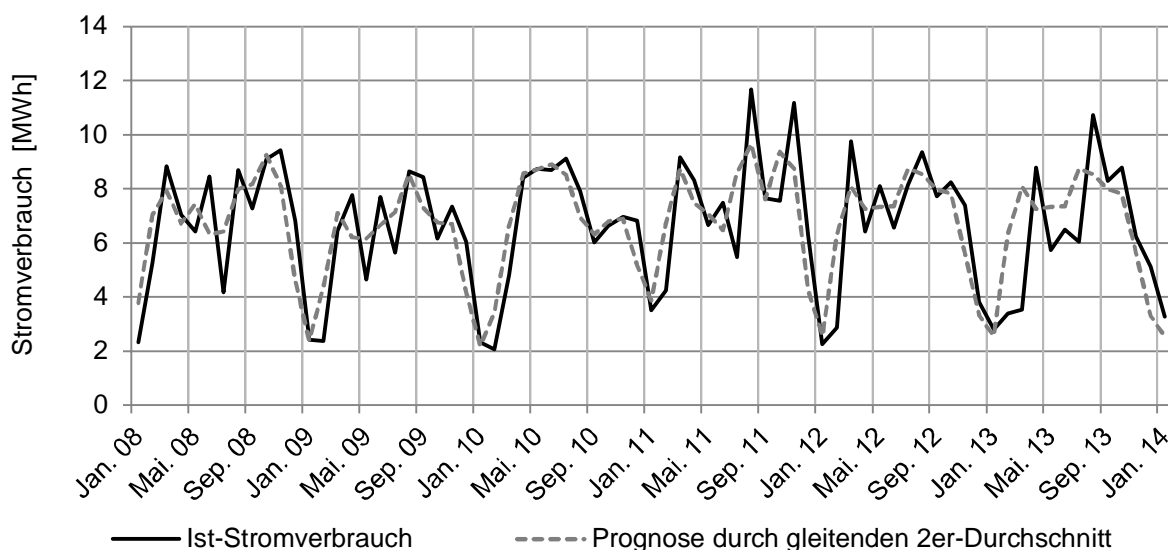


Abbildung 39: Energieplanung durch Zeitreihenextrapolation (gleitender Durchschnitt)

Die verwendeten Parameter für die Formeln 4.1 bis 4.3 sind in Tabelle 16 aufgeführt.

*Tabelle 16: Parameter der Regressionsanalyse*

Funktion	Parameter	Koeffizienten [MWh]	Funktion	Parameter	Koeffizienten [MWh]
Grundwert	$\alpha$	25	Juni	$\gamma_6$	54,2
Trend	$\beta$	0,1	Juli	$\gamma_7$	40,9
Januar	$\gamma_1$	0,0	August	$\gamma_8$	69,6
Februar	$\gamma_2$	8,2	September	$\gamma_9$	50,3
März	$\gamma_3$	54,7	Oktober	$\gamma_{10}$	51,5
April	$\gamma_4$	52,3	November	$\gamma_{11}$	61,1
Mai	$\gamma_5$	45,3	Dezember	$\gamma_{12}$	34,8

Werte basieren auf Daten der Jahre 2008 – 2012

#### 4.1.3 Zusammenfassender Vergleich der Planungsinstrumente und Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten der Planungsergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Instrumente zur Energieplanung zusammengefasst und auf ihre Eignung für die Planung der wesentlichen KEA<sub>H</sub>\*-Elemente bewertet. Im Anschluss erfolgt ein Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten der Planungsergebnisse.

##### Gegenüberstellung der beiden vergangenheitsorientierten Planungsverfahren

In Tabelle 17 sind die vorgestellten Instrumente zur Planung von Energieverbräuchen hinsichtlich der Eignung zur Planung der KEA<sub>H</sub>\*-Kennwerte bewertet.

Die Einzelenergieverbräuche des Materials (KEA<sub>H</sub>\*-MEV) müssen durch keines der Instrumente geplant werden, da deren Werte von den Zulieferern in Erfahrung gebracht werden können. Die Einzelenergieverbräuche der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-FEV) lassen sich durch Berechnungs- und Simulationsverfahren vorherbestimmen, wobei fallspezifisch zeitintensive Vorarbeit geleistet werden muss. Umfassende Planungsmöglichkeiten für Energieverbräuche aller Anwendungsfälle können durch das MEM bzw. das SPEM abgebildet werden. Hier ist auch eine Einbindung der Werte in die Bibliotheken von CAP-Systemen denkbar. Jedoch ist der initiale Aufwand zur Bestimmung der grundlegenden Werte sehr hoch.

Gemeinenergieverbräuche des Materials (KEA<sub>H</sub>\*-MGV) und der Fertigung (KEA<sub>H</sub>\*-FGV) lassen sich am effizientesten durch Prognoseverfahren auf Basis historischer Werte in Verbindung mit der prognostizierten Produktionsmenge planen. Die Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens (KEA<sub>H</sub>\*-GV) können sehr gut durch Fortschreibung historischer Verbräuche geplant werden.

**Tabelle 17:** Gegenüberstellung und Eignungsbewertung der Planungsinstrumente mit den wesentlichen KEAH\*-Kennwerten

	KEAH*- MEV	KEAH*- FEV	KEAH*- MGV	KEAH*- FGV	KEAH*- GV	Kommentar
<b>Berechnung</b>	o	+	o	o	o	Präzise Ergebnisse auf Anlagenebene, jedoch aufwändig in Erstellung und Durchführung.
<b>Simulation</b>	o	+	o	o	+	Gute Ergebnisse; Einbindung in Materialflusssimulation möglich. Ergibt allgemeine Energiewerte auf Anlagenebene.
<b>MEM</b>	o	++	o	o	–	Global einsetzbares Instrument für alle Anlagentypen und Vorgänge. Der initiale Aufwand für die Bestimmung der MEM-Werte ist jedoch umfangreich.
<b>SPEM</b>	o	++	o	o	–	Global einsetzbares Instrument für alle Anlagentypen und Vorgänge. Aufwand zur Bestimmung der SPEM-Werte ist ebenfalls sehr hoch. Werte ließen sich sehr gut in CAP-Systemen hinterlegen.
<b>Zeitreihenextrapolation</b>	o	--	o	o	++	Grobes Instrument, das keine künftigen Ereignisse berücksichtigt. Eignet sich maßgeblich für Verbraucher mit wiederkehrendem Verbrauchsmuster.
<b>Durchschnittsverbräuche</b>	o	–	++	++	o	Geeignetes Instrument für Gemeinenergieverbraucher, die ansatzweise von der Produktionsmenge abhängen.

-- nicht geeignet

– wenig geeignet

o neutral

+ gut geeignet

++ sehr gut geeignet

KEAH\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

MEV = Einzelenergieverbräuche des Materials

FEV = Einzelenergieverbräuche der Fertigung

MGV = Gemeinenergieverbräuche des Materials

FGV = Gemeinenergieverbräuche der Fertigung

GV = Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens

MEM = Methods-Energy Measurement

SPEM = System of Predetermined Energetic Minimums

## Prognose von Energieverbräuchen als Grundlage für dynamischen Stromeinkauf

Neben der Relevanz von Energieplanung im Rahmen des Controllings kann eine fundierte Abschätzung künftiger Verbräuche auch im Bereich des Energieeinkaufs positive Effekte haben. Gerade bei höheren Energiekosten kann es sich lohnen, von der klassischen Vollstromversorgung zu dynamischeren Versorgungsstrategien zu wechseln. Bei der Tranchenbeschaffung (siehe Abbildung 40) werden innerhalb eines festgelegten zeitlichen Rahmens (der Beschaffungsperiode) Strommengen zum aktuellen Tageskurs an der Europäischen Energiebörse eingekauft.

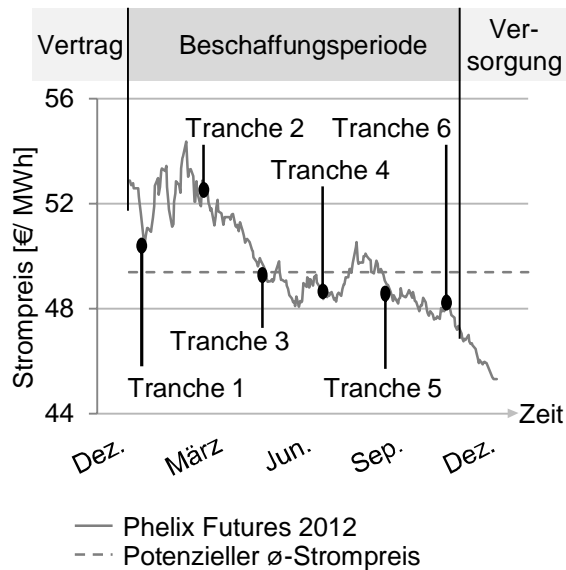


Abbildung 40: Stromversorgung durch Tranchenbeschaffung (vgl. [127])

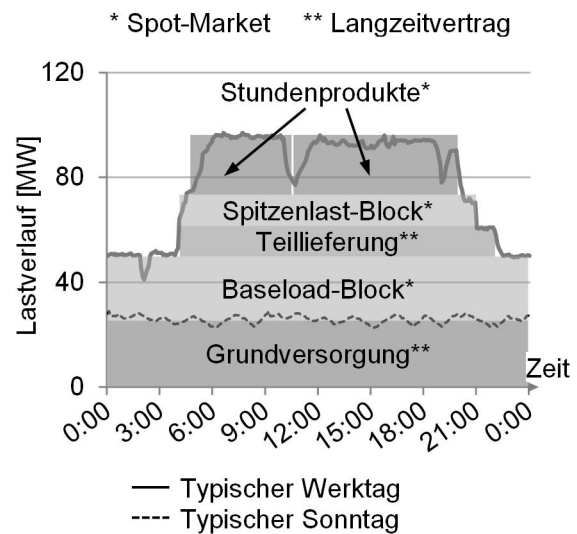


Abbildung 41: Stromversorgung durch Portfolio-Management (vgl. [127])

Aus den gewichteten Strompreisen der Kaufzeitpunkte ergibt sich ein durchschnittlicher Strompreis, der für die Dauer der Stromversorgung als Basis für die Stromkosten gilt. Beim Portfolio-Management (siehe Abbildung 41) wird der erwartete Lastverlauf durch den Einkauf verschiedener Strompakete abgedeckt. Dabei stehen verschiedene Produkte zur Verfügung, die sich unter anderem durch den zeitlichen Bezug unterscheiden. [162]

Im Gegensatz zur Vollstromversorgung bieten die dynamischen Beschaffungsarten zwar Kostensparpotenziale, beinhalten allerdings auch ein erhöhtes Risiko. Die Risiken liegen in zwei Faktoren begründet. Einerseits kann sich der Strompreis anders entwickeln als angenommen, andererseits kann der eigene Strombedarf von den Prognosen abweichen.

Um von den Chancen des liberalisierten Strommarktes profitieren zu können, sollte also insbesondere der eigene Strombedarf durch Planungsverfahren fundiert prognostiziert werden (vgl. auch [163]). Dies ist verstärkt nötig, wenn der Stromeinkauf von der Volatilität der Strompreise durch die erneuerbaren Energien (siehe Absatz 2.3.1) profitieren soll.

## 4.2 Erfassung von Produktions- und Energieverbrauchsdaten

Nach der Planung künftiger Energieverbräuche müssen die energiebezogenen Prozesse im Unternehmen messbar gemacht werden. Zu diesem Zweck wird im folgenden Abschnitt die dafür notwendige technische Infrastruktur beschrieben und überprüft, ob alle produktbezogenen Messwerte den entsprechenden KEAH\*-

Kennwerten zugeordnet werden können. Abschließend wird eine Methode zur Erstellung von Messkonzepten für das Energie-Controlling erläutert.

#### **4.2.1 Notwendige Infrastruktur zur Datenerfassung**

Der nachfolgende Absatz erläutert, welche messtechnische Infrastruktur Voraussetzung für das Erfassen der notwendigen Daten ist. Dabei wird zwischen bestehendem und nachzurüstendem Equipment sowie notwendiger Peripherie zur Datenaufbereitung und -speicherung unterschieden.

##### **Verbrauchserfassung durch vorhandene oder nachzurüstende Messgeräte**

Zur Erfassung der Energieverbräuche eines Unternehmens zum Zweck des fortwährenden Energie-Controllings sind fest installierte Messeinrichtungen notwendig. Im Idealfall ist an den Energieverbrauchern bereits Messequipment vorhanden. Gerade in den Steuerungen moderner Produktionsanlagen ist die Möglichkeit zur Erfassung von Energieverbräuchen oft integriert. [164]

In einer im Rahmen dieser Arbeit erstellten Studie wurde jedoch festgestellt, dass lediglich 28 Prozent der teilnehmenden Unternehmen den Energieverbrauch auf Anlagenebene messen. Die Mehrzahl überwacht ihre Verbräuche auf Hallenebene (34 Prozent) oder durch die Zähler des Energieversorgungsunternehmens auf Werksebene (38 Prozent). [4; 165]

Für den Fall, dass im Sinne der Transparenz über die Energieverbräuche noch nicht ausreichend Messinstrumente an den Energieverbrauchern installiert sind, können diese nachgerüstet werden. Je nach Anschlusssituation im Unternehmen kann das an den Stromschienen zentraler Schaltschränke oder an einzelnen, maschinennahen Schaltschränken erfolgen. Die erfassten Messwerte müssen gemeinsam mit einem Zeitstempel sowie einem Schlüssel zur eindeutigen Zuordnung des Energieverbrauchers abgespeichert werden. Um die gemessenen Energieverbräuche mit dem Produktionsergebnis in Verbindung bringen zu können, müssen die Ausbringungsmenge je Produktionsanlage sowie der Produkttyp in der gemessenen Zeitspanne ermittelt werden. Dies ist besonders an (verketteten) Produktionsanlagen, an denen mehrere verschiedene Produkte gefertigt werden, von Bedeutung. Die im oben genannten Sinne relevanten Produktions- und Prozessdaten können, wie in Abbildung 42 dargestellt, prinzipiell aus allen Ebenen der Automatisierungspyramide entnommen werden. [166; 167]

Die erhobenen Daten aus Feld-/ Steuerungsebene (1) und den nachträglich installierten Messgeräten der Prozessebene (2) werden zusammen mit den Produktions- und Prozessdaten (3) in einer gemeinsamen Datenbank zusammengeführt.

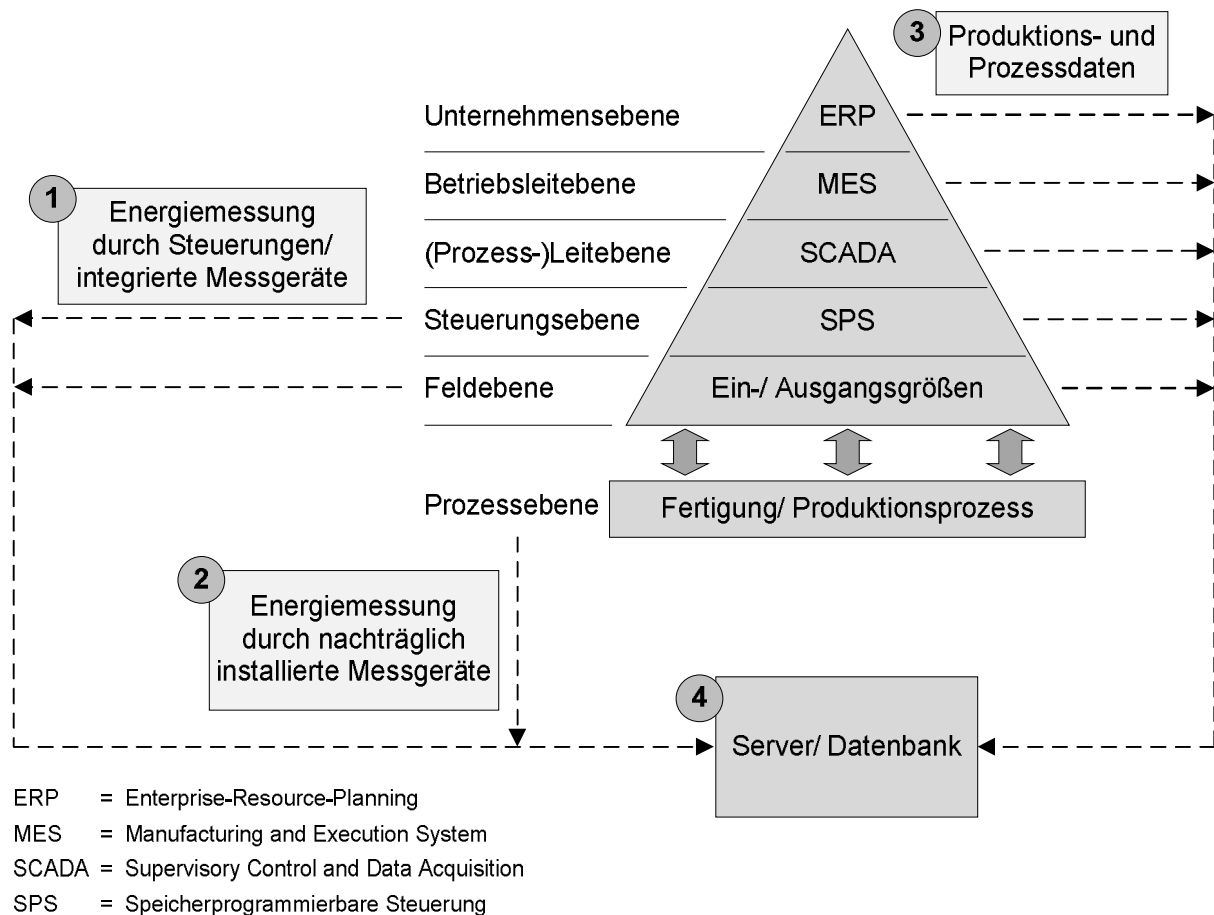


Abbildung 42: Zusammenspiel von Produktions-/ Prozessdaten mit Energiemesswerten im Modell der Automatisierungspyramide (vgl. [166])

Die nachträgliche Installation von Messgeräten ist mit Kosten für Hardware und Installation verbunden. Um die Hardwarekosten dem Einsatzzweck angemessen zu halten, sollte bei der Auswahl des Equipments auf die benötigten Merkmale geachtet werden. Wesentlich ist die Eignung der Messgeräte zur festen Installation in Schaltschränken (z.B. Wandlermessung in Hutschienenausführung). Zudem sollten die Messgeräte über geeignete Schnittstellen verfügen, damit die Daten in Echtzeit weitergegeben werden können. Gleichzeitig sollte die Möglichkeit bestehen, dass Messwerte für den Fall einer Netzwerkstörung automatisch kurzzeitig gespeichert werden, um Datenverluste zu vermeiden. [168]

Die Investitionskosten für Hardware und ggf. Softwarelizenzen variieren je nach Anbieter und Unternehmensspezifika. In einer Marktstudie [169] zur Kostenabschätzung wurden Angebote zur Ausrüstung von 35 „Modellunternehmen“, welche sich in der Anzahl der Verbraucher und in der Anzahl der Haupt- und Unterverteilungen unterschieden haben, von 16 Anbietern eingeholt. Pro Messstelle ergaben sich in der Auswertung Kosten in Höhe von ca. 600 €. [94] Die Installation der Messgeräte wird zumeist vom Werkselektriker durchgeführt.

Bei der nachträglichen Installation von Equipment ermöglicht die OPC-Schnittstelle (Open Platform Communications) dabei die Kommunikation von Geräten unterschiedlicher Hersteller ohne großen Anpassungsaufwand. So können bspw. die Informationen von nachgerüsteten Sensoren oder Steuerungen verschiedener Hersteller leicht in die Steuerungs-/ Überwachungsebene übertragen werden (siehe zum Beispiel [170]). Mit der OPC-Spezifikation „OPC-UA“ (Unified Architecture) können Geräte auch über die horizontalen Ebenen der Automatisierungspyramide hinweg kommunizieren.

### **Aufbereitung und Speicherung der Daten**

Den Kern der Benutzeranwendung für das Energie-Controlling bildet das Data Warehouse, welches die Aufgabe der Datenbeschaffung, Datenaufbereitung und Datenspeicherung hat, sodass die Daten durch auf OLAP-Anwendungen (Online Analytical Processing) basierenden Operationen analysiert werden können. [171; 172] Diese eignen sich sehr gut, da die Energiedaten in jeder Granularitätsstufe ausgewertet und je nach Informationsbedarf geeignet aggregiert und berichtet werden können. [173] OLAP ist die Bezeichnung für interaktive Datenanalysewerkzeuge, welche auf die Informationen einer Datenbank zugreifen. Im OLAP-System werden Informationen nach voneinander unabhängigen Dimensionen kategorisiert [174]. Hierdurch können Energieparameter mit anderen Daten des Unternehmens zusammengeführt werden, um Korrelationen zu identifizieren. [175]

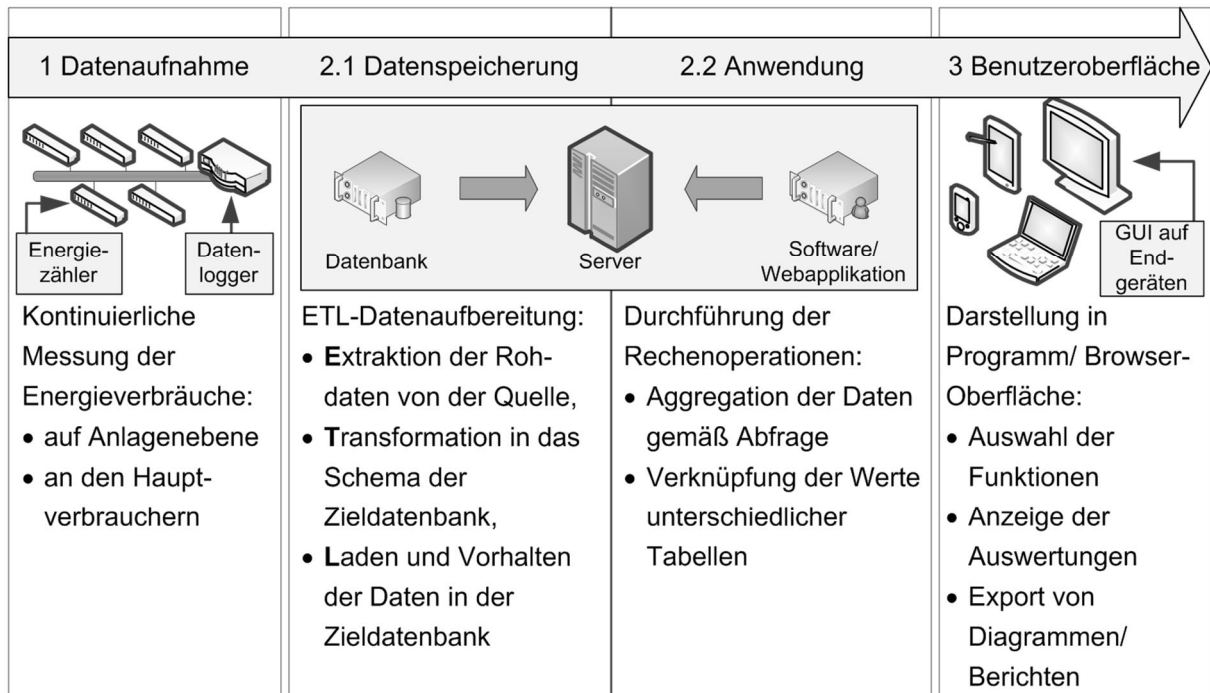
In diesem Zusammenhang wird die Nutzbarkeit der Daten für das Energie-Controlling durch die Umwandlung von Mikrodaten in aggregierte, sortierte und gruppierte analytische Daten gewährleistet. Diese Datenintegration wird durch den Extract-Transform-Load(ETL)-Vorgang beschrieben. Der dreistufige Prozess überführt die Rohdaten der Quellsysteme in die Zieldatenbank (Data Warehouse) [176]:

- Extraktion und Zwischenspeicherung aller relevanten Daten aus den Quellsystemen (siehe Abbildung 42);
- Transformation/ Homogenisierung aller im Zwischenspeicher befindlichen Daten in das Schema der Zieldatenbank;
- Laden der Daten in die Zieldatenbank.

Für die Methodik des Energie-Controllings ist es irrelevant, ob sich die Datenbank auf einem unternehmensinternen oder -externen Server befindet.

Das Zusammenspiel oben beschriebener Prozesskomponenten von der Datenerhebung bis zur Benutzeroberfläche ist in Abbildung 43 dargestellt.





GUI = Graphical User Interface (Benutzeroberfläche)

ETL = Extraktion, Transformation, Laden

Abbildung 43: Informationsfluss von Datenaufnahme zur Benutzeroberfläche [155]

Die weitere Verwendung der erfassten Daten (1) erfolgt, indem die Daten in der Datenbank nach dem ETL-Prozess aufbereitet werden (2.1) und anschließend zur Durchführung von Rechenoperationen durch die Software/ Webapplikation (2.2), ausgelöst durch die Benutzeranfragen (3), bereit liegen.

#### 4.2.2 Zuordenbarkeit gemessener Verbräuche mit den KEAH\*-Kennwerten

Zur Anwendung des KEAH\*-Zuschlagskalkulationsschemas müssen die gemessenen Energieverbräuche mit den entsprechenden Produkten verknüpft werden. Je detaillierter die Datenaufnahme erfolgt, desto genauer kann die Zuordnung durchgeführt werden. Um den Aufwand der Datensammlung einzugrenzen, können Produktgruppen (bspw. in Anlehnung an Kostenstellen) gebildet werden. Dieses Vorgehen bietet sich insbesondere bei den Gemeinenergieverbräuchen an. Im folgenden Absatz werden die wesentlichen Elemente des KEAH\*-Kennwerteschemas hinsichtlich der Zuordenbarkeit von Energiemesswerten und Produkten mit dem Ergebnis überprüft, dass alle produktbezogenen Energieverbräuche den entsprechenden KEAH\*-Kennwerten zugeordnet werden können.

#### Einzelergieverbräuche des Materials (KEAH\*-MEV)

Eine weitere Zuordnung ist nicht erforderlich, da die Informationen bereits durch den Hersteller eindeutig produktbezogen übermittelt werden.

### Gemeinenergieverbräuche des Materials (KEAH\*-MGV)

Die Energieverbräuche für Intralogistik- und Verpackungsvorgänge sind den Produkten zuordenbar, sofern an den eingesetzten Anlagen Informationen über die von ihnen gehandhabten Produkte erfasst werden. Ist dem nicht so, erfolgt der Gemeinenergieverbrauchszuschlag auf einer höheren Bezugsebene.

### Einzelergieverbräuche der Fertigungsanlagen (KEAH\*-FEV)

Wie beschrieben, können die Energieverbräuche der Fertigungsanlagen messtechnisch erfasst werden. Gleichzeitig können die an diesen Fertigungsanlagen gefertigten Produkte bestimmt werden. Die Verknüpfung der Datensätze für Energieverbräuche und Produktionsmenge erfolgt mittels Abgleich der Datensätze hinsichtlich der beiden Primärschlüssel Energieverbraucher und entsprechender Zeitspanne. In Tabelle 18 wird nun die Zuordenbarkeit der Einzelergieverbräuche der Fertigungsanlagen mit den gefertigten Produkten in Abhängigkeit von der Erzeugnisart, deren Bezugsgröße sowie der Prozessflussart bewertet.

*Tabelle 18: Zuordenbarkeit von Einzelergieverbräuchen der Fertigungsanlagen und den gefertigten Produkten*

Erzeugnisart	Angabe der Bezugsgröße pro	Prozessflussart	Zuordenbarkeit
Stückgut	Stück oder Vielfache davon	Diskret	Direkte Zuordenbarkeit möglich, da Arbeitsvorgänge pro Stück zeitlich klar abgrenzbar sind
Schüttgut	Volumen- oder Gewichtseinheit	Kontinuierlich	Indirekte Zuordenbarkeit über die in einer Zeitspanne verbrauchte Energie pro Bezugsgröße
Bandware	Längeneinheit		
Flüssigkeiten/ Gase	Volumen- oder Gewichtseinheit		
Kuppelprodukte	Je nach Art	Diskret oder kontinuierlich	Zuordnung über KEAH*-Zuschlagskalkulation möglich

KEAH\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

Die Zuordenbarkeit ist in jedem Fall möglich. Bei diskreten Produktionsflüssen können die gemessenen Energieverbräuche den einzelnen Produkten direkt zugeordnet werden, da die Arbeitsvorgänge pro Stück zeitlich klar abgrenzbar sind. Bei kontinuierlichen Prozessflüssen müssen die Energieverbräuche innerhalb einer Zeitspanne durch die Produktionsmenge je Produkt(-gruppe) in derselben Zeitspanne verknüpft werden.

**Gemeinenergieverbräuche der Fertigungsanlagen (KEA<sub>H</sub>\*-FGV)**

Für die Verknüpfung der Gemeinenergieverbräuche der Fertigung mit den entsprechenden Produkten muss lediglich die Information vorliegen, welches Produkt mittels welcher Anlagen gefertigt wurde. Die Gemeinenergieverbräuche dieser Anlagen können dann mittels Zuschlagssätzen auf diese Produkte verteilt werden. Da an den Fertigungsanlagen für die Zuordnung der Einzelenergieverbräuche der Fertigung bereits produktbezogene Daten gesammelt werden, liegen alle notwendigen Informationen vor – die Zuordenbarkeit ist gegeben.

**Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens (KEA<sub>H</sub>\*-GV)**

Die Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens fallen naturgemäß produktunabhängig an. Eine Zuordnung ist folglich nicht notwendig, da der Gemeinenergieverbrauch zu Basis der Energieverbräuche der Produktion zugeschlagen wird.

**4.2.3 Erstellung von Messkonzepten**

Durch eine dem Zweck angemessene Anzahl an Messstellen können Hardwarekosten gering gehalten und unnötige Datenmengen vermieden werden. Im nachfolgenden Absatz wird in diesem Zusammenhang zunächst ein Klassifikationsschema zur Einteilung von Energieverbrauchern vorgestellt. Anschließend wird die Granularität zur Erfüllung der Anforderungen an ein Energie-Controlling abgeleitet. Schließlich wird eine Methodik zur Identifikation relevanter Verbraucher vorgestellt.

**Kriterien zur Bestimmung der Messgranularität**

Der Großteil der Energieverbräuche in produzierenden Unternehmen wird durch Produktionsanlagen verursacht. [147; 150] Messgeräte sollten also verstärkt an diesen Anlagen installiert werden. Da die Produktionsanlagen direkt für die Leistungserstellung des Unternehmens eingesetzt werden, ist es ohnehin sinnvoll, die hergestellten Güter mit der dafür aufgewendeten Energie zu verknüpfen.

In der Praxis hat es sich bewährt, die Energieverbraucher nach dem Pareto-Prinzip einzuteilen und die so identifizierten Hauptverbraucher mit Messgeräten zu versehen. Danach müssten lediglich 20 Prozent der Verbraucher ausgestattet sein, um 80 Prozent der Energieverbraucher zu erfassen. Eine derart scharfe Unterteilung der Anlagen und Energieverbräuche ist allerdings in Unternehmen mit vielen kleineren Anlagen nicht immer möglich. Hier muss fallweise über die Ausstattung von Messeinrichtungen entschieden werden. [94]

Pro Messintervall sollten der Energieverbrauch (z.B. in kWh) sowie die minimale und maximale Leistungsaufnahme (z.B. in kW) gemessen werden. Die geringste Dauer der Messfrequenz sollte eine Sekunde nicht unterschreiten. Einerseits werden die Messgeräte etwa ab dieser Schwelle schnell teurer, andererseits ergibt sich durch die feinere Auflösung kaum ein Mehrwert für das Energie-Controlling, welcher das aufwändige Handling der immensen Datenmengen rechtfertigen würde. Erfolgt im

Rahmen des Energie-Controllings ein Hinweis darauf, dass eine Detailmessung durchgeführt werden sollte, können mobile Messkoffer [177] zur kurzfristigen Anlagenanalyse (z.B. für zwei Wochen) eingesetzt werden. Die längste Dauer der Messfrequenz sollte bei 15-Minuten-Werten liegen. Dies entspricht dem Betrachtungsraster des Energieversorgungsunternehmens (vgl. auch [178]).

In Abbildung 44 sind von links nach rechts feingranularer werdend die Hierarchieebenen zur Energiemessung dargestellt.

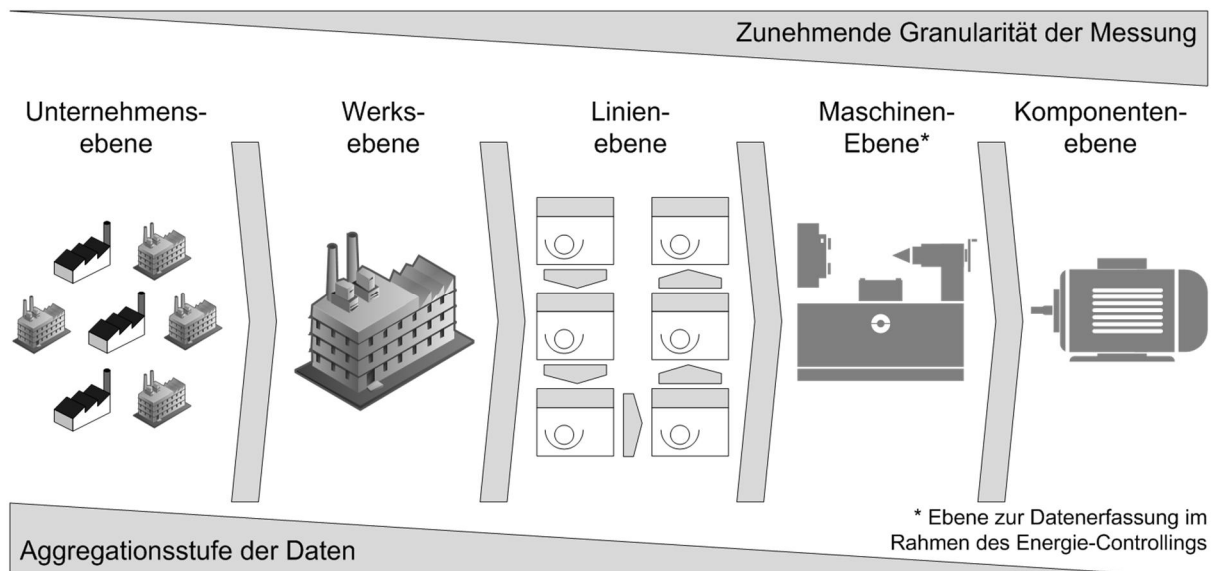


Abbildung 44: Messhierarchien in der Unternehmensstruktur

Auf Werksebene werden durch den Energieversorger in jedem Fall bereits Energiemessungen durchgeführt. Für die Energie-Controlling-Methodik sollten die Energieverbräuche jedoch auf Anlagenebene erfasst werden. Durch Aggregation der Messwerte, in Abbildung 44 von rechts nach links dargestellt, können die Anlagenverbräuche je nach Controlling-Bedarf auf Prozess-, Werks- oder Unternehmensebene zusammengefasst werden. Eine fortwährende Messung auf Komponentenebene (bspw. einzelne Motoren der Anlagen) ist für den Einsatzzweck des Energie-Controllings nicht ratsam. Erneut stehen die Menge der erhobenen Daten sowie die Kosten für das Messequipment nicht für den resultierenden Informationsgewinn. Auch hier kann bei Bedarf eine kurzfristige Messung mit einem Messkoffer erfolgen.

### Vorgehen bei der Auswahl der zu messenden Verbraucher

Zur konkreten Auswahl der Anlagen, die mit Messgeräten ausgestattet werden müssen, hat sich in der Praxis das in Abbildung 45 dargestellte, dreistufige Vorgehen bewährt.

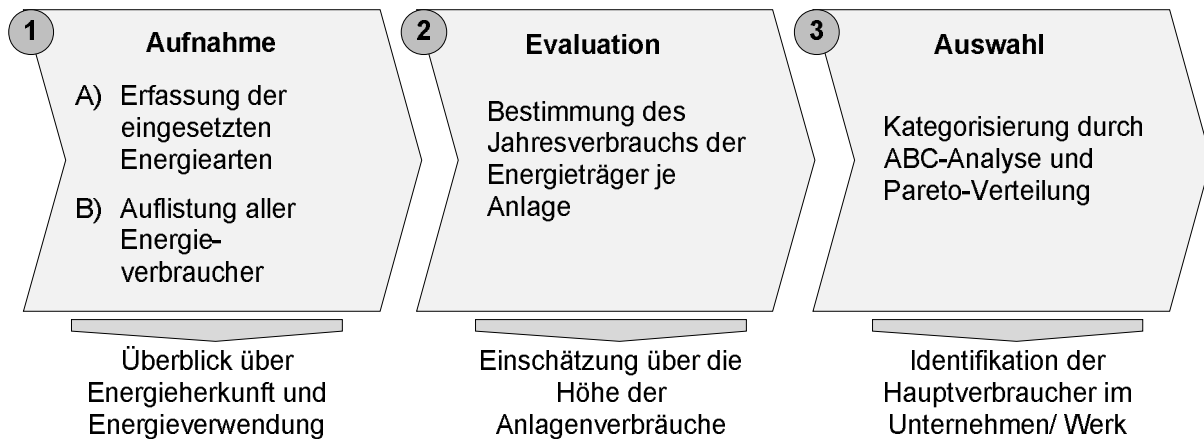


Abbildung 45: Dreistufiges Vorgehen zur Bestimmung der mit Messgeräten nachzurüstenden Anlagen

Zunächst erfolgt eine Auflistung der eingesetzten Energiearten (1A). Hierzu können Abrechnungen der Energieversorgungsunternehmen verwendet werden. Parallel wird eine Auflistung aller Energieverbraucher auf Anlagenebene inklusive der Nennleistungsaufnahmen je Energieart erstellt (1B). Es können Datenblätter oder Typschilder als Informationsquelle herangezogen werden. Anschließend werden die Jahresverbräuche der Anlagen durch Multiplikation der Nennleistungsaufnahme mit einem Lastfaktor und der Jahreslaufzeit abgeschätzt (2). Zur Bestimmung des Lastfaktors können im Zweifelsfall Kurzzeitmessungen durchgeführt werden. Schließlich werden die Energieabnehmer in einer ABC-Analyse mit dem Kriterium des Jahresverbrauchs in Haupt- und Nebenverbraucher unterteilt (3). In Abbildung 46 ist exemplarisch eine solche ABC-Analyse dargestellt.

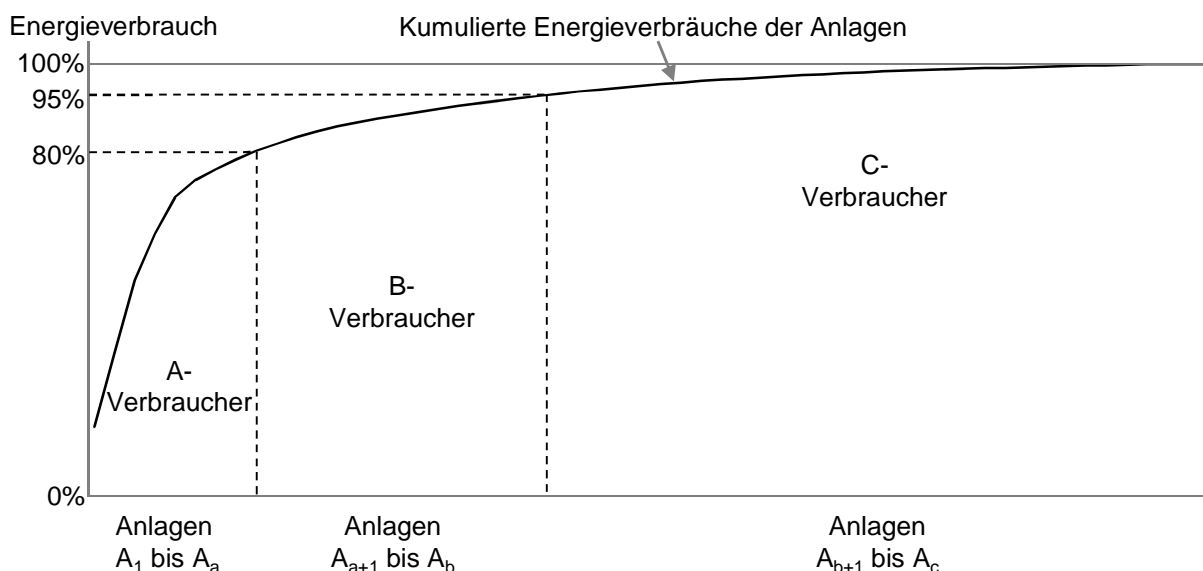


Abbildung 46: ABC-Analyse über die Energieverbraucher nach deren Energieverbrauch

Die A-Verbraucher entsprechen schließlich den Verbrauchern, welche mit Messgeräten ausgestattet werden sollten – soweit die Möglichkeit zur Energiemessung nicht bereits in den Anlagen implementiert ist.

Das vorgeschlagene Vorgehen sollte in enger Abstimmung zwischen dem Energiemanagement-Beauftragten, Werkselektriker, Gruppenleitern der Produktion und ggf. den Anlagenbedienern erfolgen, um internes Wissen und Erfahrungen zu nutzen (vgl. auch [179]).

### **4.3 Kontrolle, Steuerung und Berichterstattung von Energieverbräuchen**

Nachdem für eine bestimmte Periode im Vorhinein energiebezogene Werte prognostiziert und geplant wurden, fallen im Verlauf dieser Periode durch die Geschäfts- bzw. Produktionsvorgänge reale Energieverbräuche an. Im Rahmen des Energie-Controllings gilt es nun, diese Werte rückblickend zu betrachten, die Einhaltung von Zielen zu kontrollieren, Maßnahmen zur Steuerung der Energieeffizienz einzuleiten und die Ergebnisse des Controlling-Prozesses an interne und ggf. externe Interessensgruppen zu berichten. Diese Vorgänge werden im folgenden Abschnitt erläutert.

#### **4.3.1 Kontroll- und Steuerungsmethoden für Energieverbräuche**

Im folgenden Absatz werden Kontroll- und Steuerungsmethoden im Rahmen des Energie-Controllings vorgestellt. Dabei wird auf Soll-Ist-Vergleiche der  $KEA_H^*$ -Kennwerte als Kontrollinstrument sowie auf das (rollierende) Forecasting als Steuerungsinstrument für Energieverbräuche eingegangen.

#### **Gegenüberstellung geplanter mit tatsächlichen $KEA_H^*$ -Kennwerten**

Mit der Kontrolle der tatsächlich verbrauchten Energiemenge schließt sich der Controlling-Kreis. Gesetzte Ziele können nur evaluiert werden, wenn geplante und reale Werte miteinander verglichen werden. Auf Grundlage des Vergleichsergebnisses können getroffene Maßnahmen nachgebessert und neue beschlossen werden. Falls ein Bonussystem mit Bezug auf Energieverbräuche eingesetzt wird, liefert der Soll-Ist-Vergleich eine Bewertungsgrundlage.

Die Verwendung der  $KEA_H^*$ -Kennwerte bietet sich auch bei Soll-Ist-Vergleichen an, da das Auslagern energieintensiver Produktionsschritte durch die unternehmensübergreifende Betrachtungsweise nicht zur Verfälschung der Kennwerte führen kann.

Gegenstand des Kontrollschrittes sind prinzipiell alle  $KEA_H^*$ -Elemente, die im Rahmen der Planung von Energieverbräuchen geplant wurden, gegebenenfalls auch unterteilt nach Energiearten. Durch Soll-Ist-Vergleiche können folgende Punkte erzielt werden:

- Bei Einzelenergieverbräuchen des Materials ( $KEA_H^*$ -MEV) kann geprüft werden, inwiefern Zulieferer an der eigenen Energieeffizienz gearbeitet haben.

Gleichzeitig kann der Einkauf des fokalen Unternehmens am  $KEA_H^*$ -MEV gemessen werden, sofern eine Vorgabe gemacht wurde, dass die  $KEA_H^*$ -Werte von Zukaufteilen in die Zuliefererbewertung aufzunehmen ist.

- Bei Gemeinenergieverbräuchen des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV) kann die Energieeffizienz von Transport- und Verpackungsvorgängen überprüft werden. Werden Energieverluste durch Ausschuss separat geplant, kann die Prozesseffizienz auch in dieser Hinsicht bewertet werden.
- Bei Einzelenergieverbräuchen der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FEV) kann die Zielerreichung bei der Effizienzsteigerung der Fertigungsanlagen überprüft werden.
- Bei Gemeinenergieverbräuchen der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FGV) können Vorgaben zur Reduktion von Energieverbräuchen während Ausfallzeiten evaluiert werden.
- Bei Gemeinenergieverbräuchen des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV) können die Verbrauchsziele produktionsunabhängiger Verbraucher bewertet werden.

Mit Ausnahme der Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens bietet sich die Betrachtung der jeweiligen  $KEA_H^*$ -Werte sowohl absolut als auch relativ zur Ausbringungsmenge der Produktion an.

Am Beispiel des fokalen Unternehmens sind exemplarisch die Soll-Ist-Vergleiche der Einzelenergieverbräuche der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FEV) zweier Werke auf Quartalsebene dargestellt. Abbildung 47 stellt absolute Soll- und Ist-Verbräuche gegenüber, Abbildung 48 die Verbräuche bezogen auf die Ausbringungsmenge der Werke.

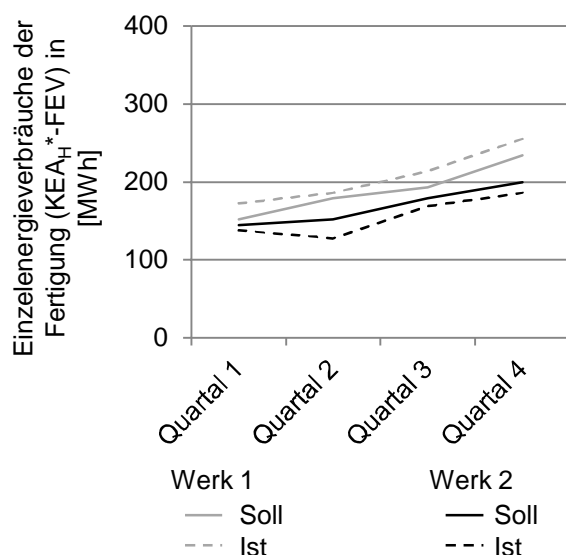


Abbildung 47: Soll-Ist-Vergleich auf Werksebene, absolute Verbräuche

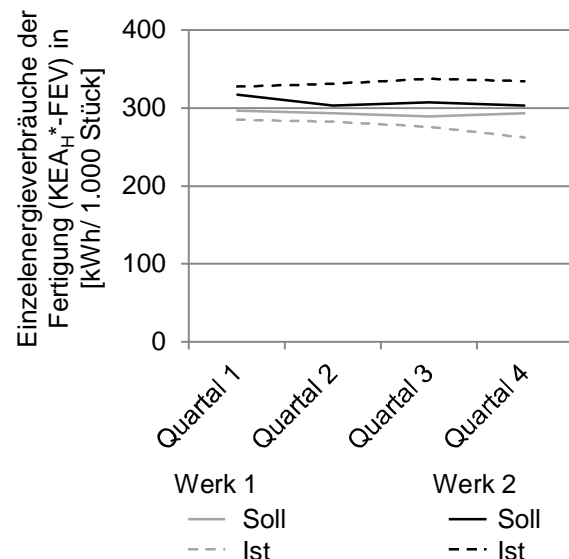


Abbildung 48: Soll-Ist-Vergleich auf Werksebene, spezifische Verbräuche

Aus dieser Unterscheidung wird die Notwendigkeit verschiedener Betrachtungsweisen deutlich. Während Werk 1 zwar mehr Energie verbraucht hat als im Vorhinein geplant, war die Energieeffizienz insgesamt besser als die Zielsetzung. Bei Werk 2 verhält es sich genau umgekehrt.

### Steuerung der Energieeffizienz durch rollierenden Forecast

Zur Evaluation der Wirkungsweise von Effizienzmaßnahmen oder für Mitarbeiterbonusssysteme ist der Soll-Ist-Vergleich gut geeignet. Durch unterjährige Änderungen, die zum Zeitpunkt der Jahresplanung oftmals nur schwer prognostiziert werden können, verbleibt der Soll-Ist-Vergleich jedoch in der Rolle eines Kontrollinstruments.

Um die Energieeffizienz von Unternehmen darüber hinaus steuern zu können, kann das Energie-Controlling um das Instrument eines (rollierenden) Forecasts erweitert werden. Beim klassischen Forecasting werden die geplanten Werte aufgrund unterjähriger Änderungen der Rahmenbedingungen zum Periodenende (z.B. Monat oder Quartal) angepasst. [23] Der Forecast verbessert somit die Ableitung von Steuerungsmaßnahmen für die Energieeffizienzsteigerung im Vergleich zum reinen Soll-Ist-Vergleich. Die Aussagekraft von Forecasts hört jedoch beim Ende des geplanten Zeitraums (meist Geschäftsjahr) auf. Für eine kontinuierlichere Steuerung eignet sich das rollierende Forecasting, in welchem losgelöst vom Geschäftsjahr ein stets gleichbleibender Horizont geplant wird. Abbildung 49 zeigt schematisch den Ablauf des rollierenden Forecasts von Energieverbräuchen.

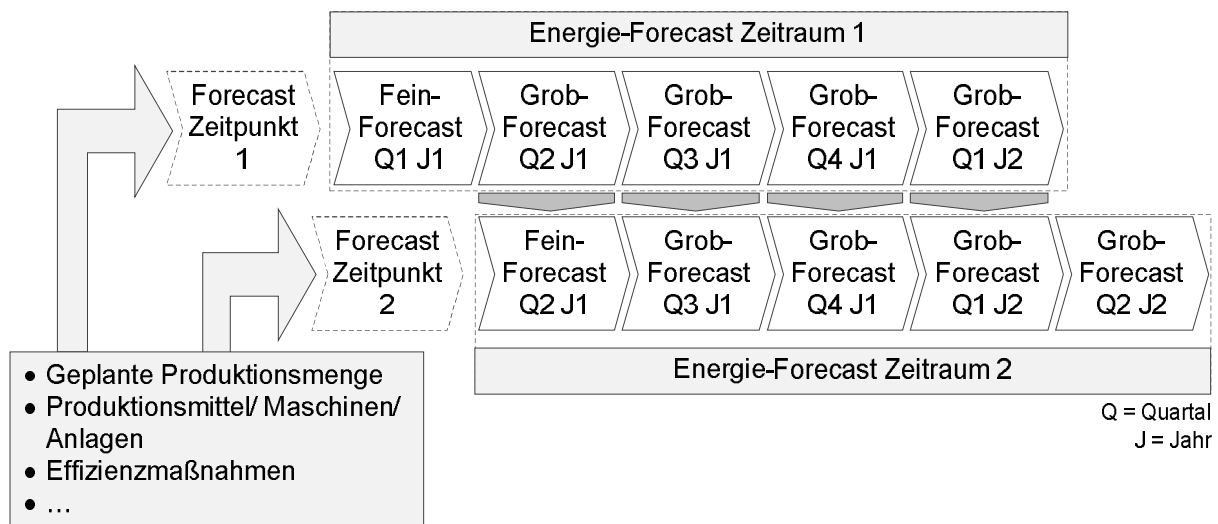


Abbildung 49: Rollierender Forecast von Energieverbräuchen (aufbauend auf [180])

Man erkennt, dass die aktualisierten Forecasts immer auf den Erkenntnissen der ursprünglichen Planung/ Forecasts aufbauen, jedoch aktuellere Informationen berücksichtigen. In diesem Zug werden die vergangenen Ziele dem Soll-Ist-Vergleich unterzogen und, aufbauend auf diesen Erkenntnissen in Verbindung mit den sich gewandelten Umweltbedingungen, neue Ziele mitsamt begleitender Maßnahmen



festgelegt (vgl. hierzu auch [180]). Es resultiert ein hohes Maß an Aktualität, von dem sämtliche Empfänger der Planungsergebnisse profitieren.

#### **4.3.2 Benchmarking als Kontrollinstrument der Energieeffizienz**

Im folgenden Absatz wird das Energie-Benchmarking motiviert und daran anschließend die spezifische Problemstellung des Energie-Benchmarkings dargestellt. Darauf aufbauend werden verschiedene Ansätze und Kennwerte für ein Energie-Benchmarking erläutert und gegenübergestellt.

##### **Benchmarking als Kontrollinstrument für Energieeffizienz**

Als Vergleichsinstrument zur Messung der Energieeffizienz der eigenen Unternehmung bietet sich das Benchmarking an. Die Ergebnisse eines Benchmarking-Prozesses können in den Kontroll- bzw. Steuerungsschritt des Energie-Controllings eingehen. Es kann dabei zwischen unternehmensinternem und -externem Benchmarking unterschieden werden. Die Grundüberlegung ist, die Effizienz der eigenen Prozesse anhand definierter Kennwerte mit der Effizienz anderer (interner oder externer) Prozesse zu vergleichen (vgl. auch [181]). Das interne Energie-Benchmarking lässt sich je nach Unternehmensebene gut anwenden und wurde eventuell bereits im Rahmen der Planung durchgeführt.

##### **Datenlücke für konsistentes Benchmarking im Bereich der Energieeffizienz**

Insbesondere beim externen Benchmarking kann das Benchmarking jedoch sein volles Potenzial entfalten, da es der Unternehmung zeigt, wo eigene Effizienz-Zielsetzungen im Vergleich mit dem Stand der Technik liegen. Während das Benchmarking in vielen Unternehmensbereichen bereits etabliert ist, gibt es bei energiebezogenen Benchmarks noch Hemmnisse. Die Schwierigkeit liegt hier in der Definition universell einsetzbarer Kennwerte begründet, was in einer mangelhaften Datengrundlage resultiert.

Bestehende energiebezogene Benchmark-Werte beziehen sich maßgeblich auf den Energieverbrauch während der Produktbenutzung (etwa das EU-Energie-Label oder die CO<sub>2</sub>-Klassifizierung von Kraftfahrzeugen), nicht während der Produktherstellung. Der Kennwert des Energieverbrauchs pro Ausbringungsmenge (vgl. [182]) ist nicht ohne weiteres für das externe Benchmarking verwendbar, da die Höhe der Kennwerte bei vergleichbaren Produkten entscheidend von der Fertigungstiefe eines Unternehmens beeinflusst wird. Auch weitere in der Literatur vorgeschlagene und diskutierte Kennwerte, die eine Energievariable in Relation zu einer Bezugsgröße setzen, eignen sich kaum für das externe Energie-Benchmarking auf Produktebene, da stets die unternehmensübergreifende Vergleichbarkeit an der einen oder anderen Stelle der Kennwertbestimmung nicht gegeben sein kann. [183]

### **Ansätze für ein unternehmensübergreifendes Energie-Benchmarking**

Aus diesen Gründen wurden mehrere Kennwerte entwickelt, die sich auch für ein unternehmensübergreifendes Energie-Benchmarking eignen.

Wie beschrieben liefert das System vorbestimmter energetischer Minima (SPEM) je drei Benchmark-Werte für standardisierte Grundvorgänge in Fertigung und Montage. Es wird dabei zwischen physikalischen (Energetic Physical Minimum, EPM), technologischen (Energetic Technological Minimum, ETM) und realen Energieverbrauchsminima (Energetic Real Minimum, ERM) unterschieden, mit denen sich jedes Unternehmen individuell vergleichen kann. Das externe Benchmarking ist hier also nicht durch den Vergleich mit anderen Unternehmen geprägt, sondern durch einen Vergleich mit vorbestimmten Werten – und durch die Standardisierung verzerrungsfrei von unternehmensspezifischen Unterschieden. [157]

Der Kennwert EEV („Energy Efficiency Value“) baut auf die Werte des SPEM-Katalogs auf und setzt dabei die eigenen, tatsächlichen Energieverbräuche mit den jeweiligen theoretischen Minima ins Verhältnis. Man erhält Werte zwischen 0 und 1, wobei 1 die bestmögliche Energieeffizienz darstellt. Durch die mit den Verbrauchsanteilen gewichtete Addition der einzelnen EEV-Werte erhält man den EEV-Wert bis zu jeder Unternehmensebene und kann sich somit auch einem unternehmens- bzw. branchenübergreifenden, externen Benchmarking-Prozess unterziehen. [159]

Darüber hinaus unterscheidet der Kennwert EPE (Energy Process Efficiency) zwischen wertschöpfend eingesetzter Energie sowie wertermöglicher und verschwendeter Energie. Nach dieser Trennung wird das Verhältnis aus wertschöpfend eingesetzter Energiemenge und Gesamtenergieverbrauch gebildet. Der resultierende Kennwert kann ebenfalls für jede Unternehmensebene ermittelt werden und eignet sich sowohl für das interne als auch das externe Benchmarking. [184]

Mit dem Kennwert  $KEA_H^*$  ist darüber hinaus eine Größe gegeben, anhand welcher der gesamte Energieverbrauch einer Wertschöpfungskette zu jeder beliebigen Fertigungsstufe ermittelt werden kann. Durch die einheitliche Methodik zur Allokation von Energieverbräuchen auf Produkte ist ein unternehmensübergreifendes Benchmarking möglich.

Tabelle 19 stellt zusammenfassend die Charakteristika der vorgestellten Energie-Benchmark-Kennwerte dar.

Tabelle 19: Ausgewählte Kennwerte zur Durchführung von Energie-Benchmarks

	SPEM	EEV	EPE	KEAH*
Art des Kennwerts	Theoretisch errechnete Einzelwerte auf Fertigungsschritt-Ebene. Können aufsummiert werden.	Verhältnis von theoretisch minimalem und tatsächlichem Energieverbrauch	Verhältnis von wertschöpfend eingesetzter Energie zu Gesamtenergieverbrauch	Energiebedarf der gesamten Wertschöpfungskette bis hin zum fertigen Produkt
Benchmarking Partner	Eher internes Benchmarking	Internes und externes Benchmarking	Eher internes Benchmarking	Eher externes Benchmarking
Zielsetzung des Kennwerts	Datengrundlage theoretischer, minimaler Energieverbräuche für einzelne Fertigungsschritte.	Möglichkeit zur Spiegelung des eigenen Energieverbrauchs mit theoretischen Minima	Indikator für mögliche Einsparpotenziale: Je kleiner der Wert, desto mehr Energieverschwendung	Kundeninformation zur Bewertung des Energieeinsatzes bei der Produkt-erzeugung
Besondere Eignung für Unternehmensebene	Fokus liegt auf Prozessebene. Mögliche Aggregation bis zur Unternehmensebene.	Prozessebene bis Unternehmensebene	Prozessebene bis Unternehmensebene	Fokus liegt auf Produktebene
Literaturverweise	[157; 158; 160]	[159]	[184]	[136]

SPEM = System of Predetermined Energy Minimums

EEV = Energy Efficiency Value

EPE = Energy Process Efficiency

KEAH\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

### 4.3.3 Kommunikationsmöglichkeiten der KEAH\*-Werte

Unternehmen, die eine Berichterstattung über ihre Energieverbräuche vornehmen, weisen für gewöhnlich eine sich jährlich verbessernde Energieeffizienz auf. [185] In diesem Sinne bietet sich das KEAH\*-Kennwerteschema als Grundlage für die Berichterstattung im Rahmen des Energie-Controllings an. Im Folgenden werden hierzu erst Darstellungsmöglichkeiten der KEAH\*-Kennwerte aufgeführt und anschließend die Berichterstattung an das Top-Management sowie an Unternehmensexterne beleuchtet.

#### Darstellung der produktbezogenen KEAH\*-Werte KEAH\*<sup>P</sup>

Der produktbezogene Energieverbrauch kann durch Energiemessung in seinen Bestandteilen einzeln dargestellt werden. Durch diesen Vorgang können die Werte

der Energieplanung überprüft werden. Abbildung 50 stellt die Energieverbräuche unterteilt nach dem KEAH\*-Kennwerteschema für das fokale Unternehmen je Produkt für ein Jahr dar.

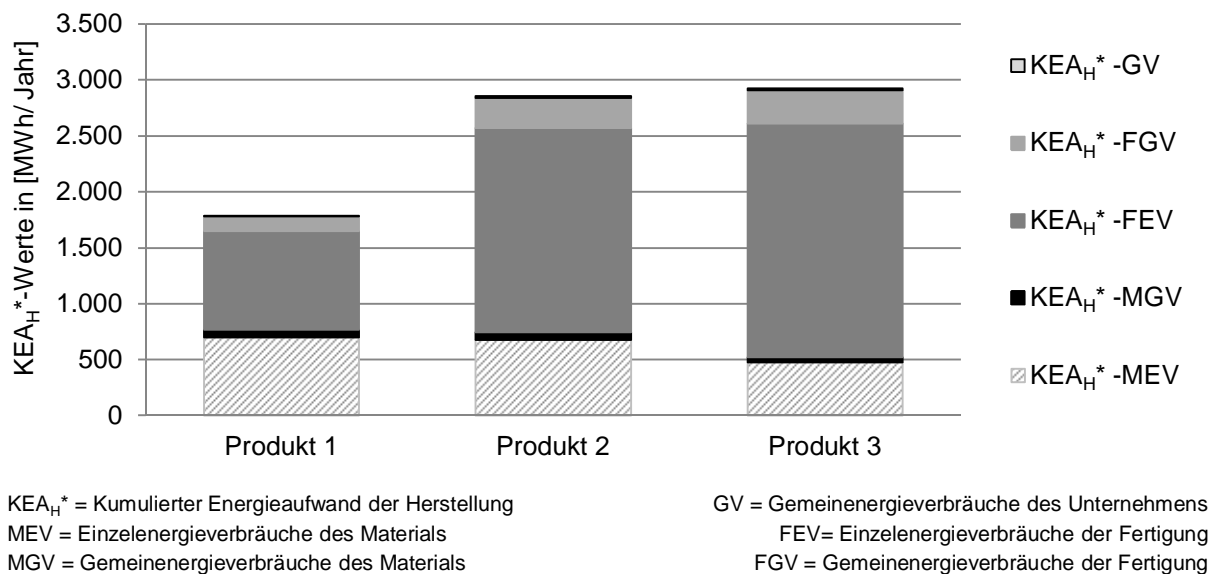


Abbildung 50: Analyse der produktbezogenen KEAH\*-Werte

Es ist zu erkennen, dass die Einzelenergieverbräuche der Fertigung die jeweils größten Anteile ausmachen. In Abbildung 51 ist darüber hinaus schematisch eine ABC-Analyse über alle Produkte eines Unternehmens dargestellt.

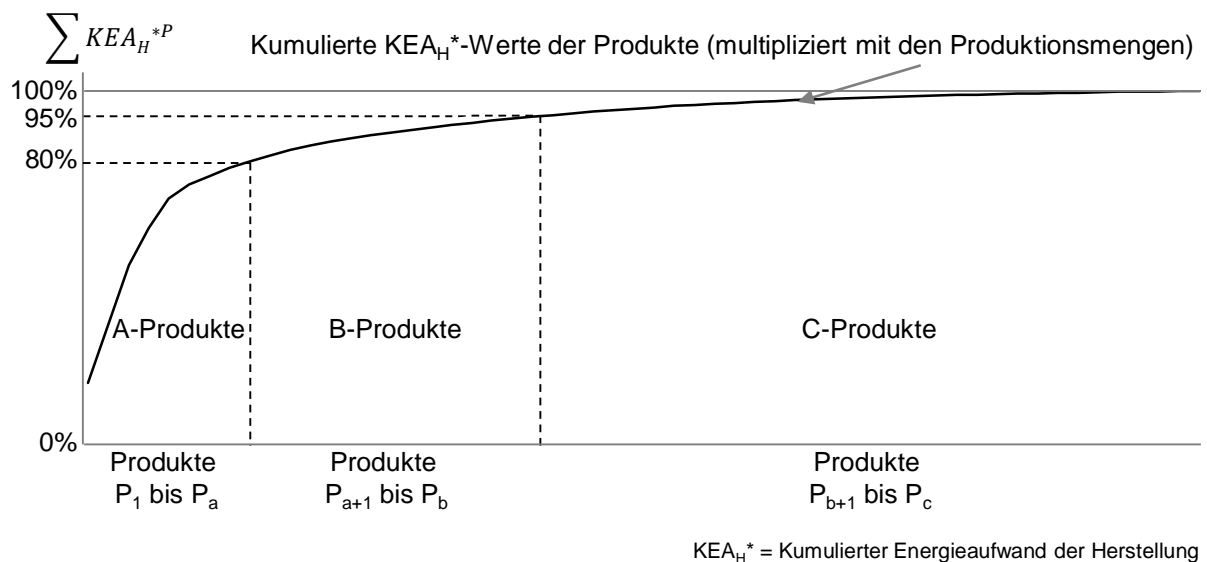


Abbildung 51: ABC-Analyse über die Produkte nach deren KEAH\*-Werten

Diese Darstellung bietet sich bei einer Vielzahl verschiedener Produkttypen an, um die Produkte mit dem größten Energiebedarf (gemessen an deren KEAH\*-Werten) im Produktionsprozess zu identifizieren und zu gruppieren.

Auf der x-Achse sind die einzelnen Produkte aufgetragen, absteigend sortiert nach deren  $KEA_H^*$ -Werten. Die y-Achse steht für die kumulierten  $KEA_H^*$ -Werte, sodass 100 Prozent für die gesamten Selbstenergieverbräuche des Unternehmens stehen.

Die A-Produkte stehen nun für einen kumulierten  $KEA_H^*$ -Wert von 80 Prozent, die B-Produkte verursachen weitere 15 Prozent und die C-Produkte die verbleibenden fünf Prozent. Aus dieser Darstellung lässt sich schnell herauslesen, welche Produkte hohe  $KEA_H^*$ -Werte verursachen.

### Darstellung der Hauptenergieverbraucher

In der feinsten Granularitätsstufe können die Energieverbräuche der einzelnen Maschinen und Anlagen dargestellt werden. So lassen sich einerseits Hauptverbraucher identifizieren und andererseits Energieeffizienzmaßnahmen nachverfolgen. Abbildung 52 stellt die Stromverbräuche der Anlagen/ Energieeinsatzbereiche eines der Werke des fokalen Unternehmens dar. Es ist zu erkennen, dass eine detaillierte Betrachtung der Pressen mit höherer Priorität angebracht ist, da der gesamte Stromverbrauch signifikant höher ist als bei den restlichen Verbrauchern. Diese Detailbetrachtung der Pressen ist in Abbildung 53 dargestellt.

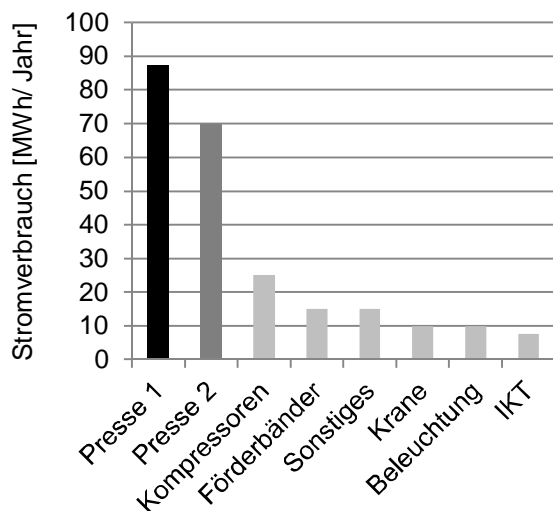


Abbildung 52: Analyse der Stromverbraucher eines Werks

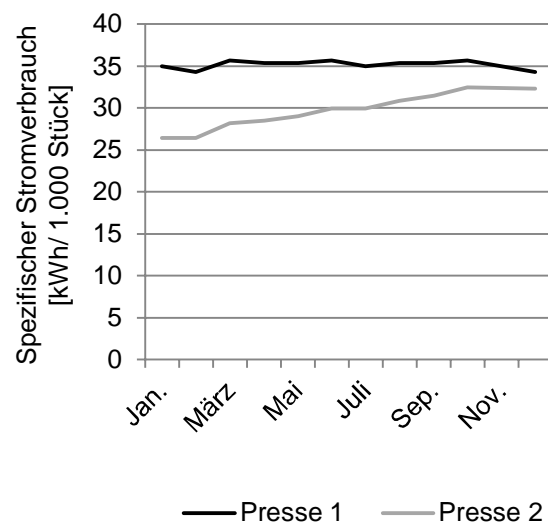


Abbildung 53: Analyse der spezifischen Energieverbräuche der Pressen

Das Diagramm zeigt die spezifischen Stromverbräuche der Pressen im Jahresverlauf. Man erkennt, dass Presse 1 kontinuierlich einen höheren Verbrauch pro 1.000 Stück hat als Presse 2. Die Energieeffizienz von Presse 2 nimmt jedoch im Jahresverlauf ab. Presse 2 müsste also möglicherweise einer Wartung unterzogen werden. Zudem ist zu prüfen, ob Presse 1 noch dem Stand der Technik entspricht,

da der spezifische Energieverbrauch signifikant höher ist als der von Presse 2 – insbesondere zu Jahresbeginn.

### Darstellung der Selbstenergieverbräuche $KEA_H^*$ im Zeitverlauf

Abbildung 54 zeigt die Selbstenergieverbräuche ( $KEA_H^*$ -S) zweier Werke des fokalen Unternehmens im zeitlichen Verlauf.

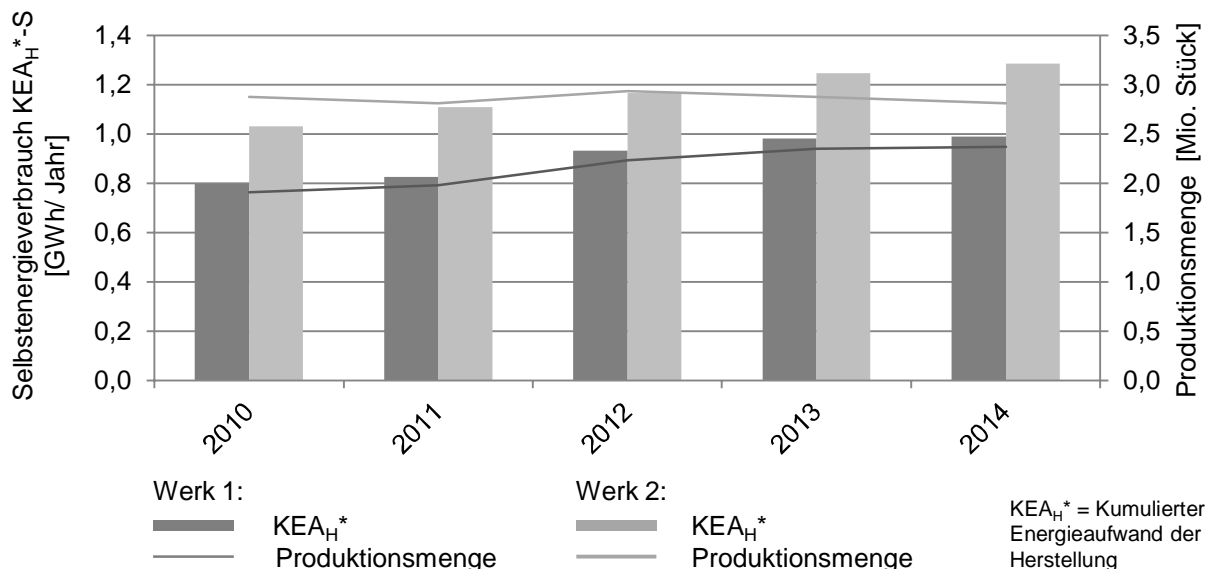


Abbildung 54:  $KEA_H^*$ -Werte des fokalen Unternehmens auf Werksebene

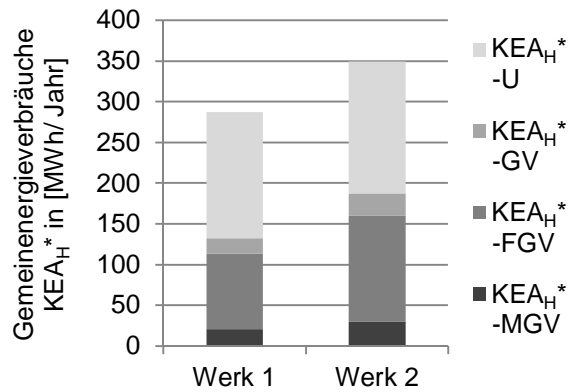
Man erkennt, dass beide Werke einen steigenden Selbstenergieverbrauch aufweisen. In Werk 1 korreliert das mit der steigenden Produktionsmenge. In Werk 2 hingegen ist die Produktionsmenge etwa auf konstantem Niveau. Die Energieeffizienz verschlechtert sich also möglicherweise. Eine detailliertere Betrachtung der Energieverbräuche der Werke ist sinnvoll.

Diese Betrachtung des zeitlichen Verlaufs von Energieverbräuchen ist ein wichtiges Werkzeug. Angefangen bei einer Darstellung auf hoher Aggregationsstufe, etwa auf Werksebene, kann das Betrachtungsobjekt bei detaillierterem Informationsbedarf bis zur Anlagenebene verkleinert werden.

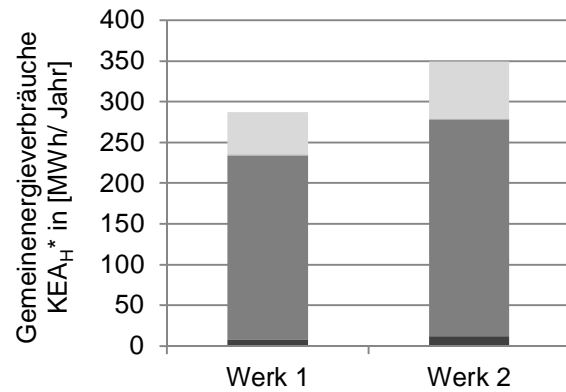
### Darstellung der Gemein- und Umwandlungsenergieverbräuche

In Abbildung 55 sind die Gemeinenergieverbräuche des Materials ( $KEA_H^*$ -MGV), der Fertigung ( $KEA_H^*$ -FGV) und des Unternehmens ( $KEA_H^*$ -GV) sowie der Energieverbräuche durch Umwandlungsvorgänge ( $KEA_H^*$ -U) zweier Werke des fokalen Unternehmens auf Jahresbasis dargestellt.

Abbildung 56 zeigt die Energieverbräuche der gleichen Werke unterteilt nach Energiearten.



KEAH\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung  
 U = Energieverbräuche der Umwandlung  
 GV = Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens  
 FGV = Gemeinenergieverbräuche der Fertigung  
 MG = Gemeinenergieverbräuche des Materials



KEAH\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

*Abbildung 55: Gemein- und Umwandlungsenergieverbräuche nach KEAH\*-Werten*

*Abbildung 56: Gemein- und Umwandlungsenergieverbräuche nach Energiearten*

Man erkennt, dass ein Großteil der Gemeinenergieverbräuche durch die Fertigung verursacht wird. In ähnlicher Größenordnung fallen Energieverbräuche durch Umwandlungsverluste an. Das Verheizen von Gas verursacht in beiden Werken die größten Umwandlungsenergieverbräuche.

### Weitere Darstellungsmöglichkeiten zur Berichterstattung an das Top-Management

Für die Berichterstattung an das Top-Management im Rahmen des Energie-Controllings über oben aufgeführte Darstellungsmöglichkeiten hinaus sind im Wesentlichen die Ergebnisse des Kontroll- bzw. Steuerungsschrittes relevant. Je nach Informationsbedarf bzw. -empfänger können die energiebezogenen Informationen aggregiert werden. Die zu berichtenden Informationen sollen in absoluten und prozentualen Werten angegeben werden. Wichtig ist die Unterscheidung nach eingesetzten Energiearten sowie eine Darstellung der Verbräuche je Werk. Aus Controlling-Sicht sind in diesem Zusammenhang beispielsweise folgende Auflistungen interessant:

- Auflistung der Top-5-Produkte (mit KEAH\*-Werten als Kriterium)
- Vorjahreswerte
- Ergebnisse der Soll-Ist-Vergleiche
- Prognosen aus dem (rollierenden) Forecast für den Rest des Geschäftsjahres
- Ergebnisse des internen und/ oder externen Energie-Benchmarkings

An dieser Stelle sei, wie in Tabelle 20 angedeutet, erneut auf die Eignung der SBSC als Steuerungs- bzw. Kommunikationsinstrument verwiesen, in die sich der Kennwert  $KEA_H^*$  sehr gut integrieren lässt.

*Tabelle 20: Aufnahme von Energiekennwerten in ein Bonuskennzahlensystem*

Finanzen	Kunde	Mitarbeiter	Interne Prozesse	Nachhaltigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Umsatzrendite</li> <li>▪ ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kundenzufriedenheit</li> <li>▪ ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mitarbeiterzufriedenheit</li> <li>▪ ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ First-Pass-Yield</li> <li>▪ ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>KEA_H^*</math></li> <li>▪ ...</li> </ul>

$KEA_H^*$  = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

Da beim  $KEA_H^*$  der gesamte Energieverbrauch zur Erzeugung eines Produkts (unternehmensintern und -extern) in die Bewertung mit einbezogen wird, hat eine künstliche Verbesserung des Kennwerts durch Auslagerung energieintensiver Produktionsprozesse keinen Effekt – es sei denn, der Zulieferer kann den Prozess energieeffizienter durchführen, was sich dann jedoch wiederum positiv auswirkt.

### Berichterstattung an Unternehmensexterne

Die Herausgabe interner Details an externe Interessensgruppen ist immer mit dem Risiko behaftet, etwaige Wettbewerbsvorteile preiszugeben und Konkurrenten einen Vorteil einzuräumen. Die Kommunikation energiebezogener Informationen kann dennoch von Vorteil sein, etwa wenn ein Unternehmen mit seinen energieeffizienten Herstellungsprozessen werben möchte.

Insbesondere in Branchen, in denen (End-)Kunden oder andere Stakeholder die Herausgabe umweltrelevanter Informationen fordern, sind Nachhaltigkeitsberichte bereits ein verbreitetes Instrumentarium. In einer im Rahmen dieser Arbeit erstellten Studie [186] aus dem Jahr 2014 wurde festgestellt, dass über 90 Prozent der DAX-30 notierten Unternehmen und über 50 Prozent der MDAX-notierten Unternehmen einen Nachhaltigkeitsbericht veröffentlichen. Bei kleineren Unternehmen (je etwa 20 Prozent der SDAX- und TecDAX-Unternehmen) werden hingegen deutlich weniger Nachhaltigkeitsberichte publiziert. Um die Informationen unternehmensübergreifend vergleichbar zu halten, orientieren sich viele Unternehmen an anerkannten Reporting-Standards. So waren 60 Prozent der 2013 veröffentlichten Nachhaltigkeitsberichte der DAX-, MDAX-, SDAX- und TecDAX-gelisteten Unternehmen am Leitfaden des UN Global Compact ausgerichtet und insgesamt 75 Prozent der genannten Unternehmen orientierten sich an den GRI-Richtlinien (Global Reporting Initiative).

Trotz der sich verbessernden Berichterstattungskultur werden jedoch bisher kaum Informationen über den produkt- und stückbezogenen Energieverbrauch durch den Herstellungsprozess im Sinne des Kennwerts  $KEA_H^*$  veröffentlicht. Das liegt



maßgeblich an der in den Unternehmen bisher fehlenden messtechnischen Infrastruktur. Es ist jedoch zu erwarten, dass diese Informationen im Zuge der Implementierung von Energiemanagementsystemen auf breiter Basis bereitgestellt werden können. Durch den wachsenden Informationsbedarf der (End-)Kunden dürften diese Werte in die Nachhaltigkeitsberichte aufgenommen beziehungsweise in Benchmarking-Datenbanken (z.B. in den SPEM-Katalog, vgl. [157]) überführt werden.

## 5 Prototypische Umsetzung einer Energie-Controlling-Software

Aufbauend auf den in Abschnitt 2.4.3 definierten Anforderungen an eine Software zur Unterstützung des Energie-Controllings wurde zu Demonstrationszwecken ein prototypisches IT-Tool „Energy-Cockpit“ entwickelt. Im Folgenden wird zunächst dessen Programmaufbau inklusive der technischen Infrastruktur und der zugrundeliegenden Datenbank beschrieben. Im Anschluss wird der Prototyp an zwei Anwendungsbeispielen aus der Praxis getestet, sodass die Anforderungen an das IT-Tool mit den Ergebnissen des Tests gespiegelt werden können. Schließlich werden die gesammelten Erkenntnisse zusammengefasst und Weiterentwicklungspotenziale aufgezeigt (vgl. im Folgenden auch [94; 187]).

Die prototypische Software Energy-Cockpit soll die Energie-Controlling-Methodik unterstützen.

Der Softwaretest anhand zweier Unternehmensbeispiele bestätigt die Funktionalität der Module.

Künftige Versionen des Energy-Cockpits sollten Energiemanagementsysteme besser unterstützen.

*Abbildung 57: Wesentliche Aussagen von Kapitel 5*

### 5.1 Aufbau und Funktionsweise des Energy-Cockpits

Im folgenden Abschnitt wird zunächst die Infrastruktur des Energy-Cockpits in Form von Programmiersprachen, Bibliotheken und Datenbanksystem beschrieben. Es folgt die Erläuterung der Datenbankstruktur. In Absatz 5.1.3 wird der Aufbau des Programms anhand von Ablaufplänen und Abbildungen der Oberflächen dargestellt.

#### 5.1.1 Technische Infrastruktur des Energy-Cockpits

Die Umsetzung einer Energie-Controlling-Software kann auf Basis

- lokal installierbarer, betriebssystemgebundener Software;
- netzwerkbasierter, betriebssystemgebundener Software;
- standardisierter Tabellenkalkulationsprogramme;
- webbasierter Software

realisiert werden.

Aufgrund des potenziellen Installationsaufwands bei mehreren Anwendern wurden betriebssystemgebundene Lösungen nicht verfolgt.

Durch ihre weite Verbreitung wurden Tabellenkalkulationsprogramme hinsichtlich ihrer Eignung für den Prototypen getestet (vgl. [188]). Insbesondere Versionskonflikte durch unterschiedliche Betriebssysteme und Softwareversionen erweisen sich jedoch

als Hürde. Darüber hinaus ist die schlechte Performance bei der Verarbeitung von Datenbankabfragen unvorteilhaft (vgl. auch [94]), sodass diese Basis für das Energy-Cockpit insgesamt als ungeeignet bewertet wird.

Aufgrund der positiven Eigenschaften webbasierter Software wurde das prototypische Energy-Cockpit als webbasiertes Tool entwickelt. Die wesentlichen Gründe hierfür liegen in der Möglichkeit schneller Datenverarbeitung durch Client-Server-Architektur, einfachem Multi-User-Management, mobiler Verfügbarkeit, dem Ausschluss von Versionskonflikten sowie nicht vorhandenem Installationsaufwand für den Anwender. Die Nachteile in den Punkten Sicherheitsbedenken, potenziell erhöhtem Aufwand bei Programmanpassungen sowie der Notwendigkeit einer Intra- bzw. Internetverbindung fallen im Rahmen der prototypischen Umsetzung – aber auch mit Blick auf Einsatzmöglichkeiten in der Industrie – weniger stark ins Gewicht.

In Tabelle 21 sind die Elemente, auf denen das Energy-Cockpit basiert, benannt und kurz beschrieben.

*Tabelle 21: Technische Infrastruktur des prototypischen Energy-Cockpits*

Elemente	Beschreibung
HTML 5 – Hyper Text Markup Language	HTML stellt als Kernsprache in der Regel das Grundgerüst einer Webseite dar. Mit der Version HTML 5 werden Funktionen, insbesondere dynamische Grafiken, unterstützt.
CSS – Cascading Style Sheets	Zur einfachen Formatierung von HTML-Elementen können CSS-Dateien eingesetzt werden. Die einmalig beschriebenen CSS-Dateien können mehrfach durch den HTML-Code adressiert werden.
PHP – Personal Homepage Hypertext Processor	Die serverseitig interpretierbare, objektorientierte Scriptsprache PHP unterstützt die Interaktion eines Benutzers mit einer Webanwendung. Insbesondere im Zusammenspiel mit Formularen und Datenbanksystemen ist PHP sehr gut einsetzbar. Als serverseitige Sprache sendet der Browser des Benutzers Programmanweisungen, die auf dem Server verarbeitet werden. Der Browser dient nach der Rückmeldung lediglich zur Ausgabe der Informationen, indem er den gesendeten HTML-Code zusammenfügen muss.
JS – JavaScript	Die clientseitige Programmiersprache JS dient zur Erweiterung der limitierten Darstellungsmöglichkeiten von HTML.
AJAX – Asynchronous JavaScript And XML	Die Programmiertechnik AJAX ermöglicht die Aktualisierung von Webseiten, ohne dass ein Neuladen der Webseite notwendig ist.
Highcharts 4.0	Mittels der Bibliothek Highcharts 4.0 können dynamische Diagramme erstellt und in HTML 5 Umgebung dargestellt werden.
MySQL – Open Source Datenbank	MySQL ist ein Open Source Datenbankmanagementsystem. Es basiert auf der Datenbanksprache SQL (Structured Query Language).

### 5.1.2 Datenbank des Energy-Cockpits

Die Datenbank des Energy-Cockpits hat die Aufgabe, die Energie- und Produktionsdaten des Unternehmens strukturiert abzulegen und so eine effiziente Auswertung der Daten zu ermöglichen. Im Folgenden wird die Datenbankstruktur des Energy-Cockpits und der zu importierenden Energie- und Produktionsdatentabellen beschrieben.

#### Struktur der Energy-Cockpit-Datenbank

Aus Sicht des Anwenders sollten allgemeine Anforderungen der Software-Ergonomie für Controlling-Software (vgl. [189; 190]) berücksichtigt werden:

- Beantwortung auch von komplexen Abfragen innerhalb von höchstens 20 Sekunden;
- Möglichkeit zur intuitiven Analyse bei beliebiger Kombination von Abfrageparametern;
- Multiuserbetrieb durch effektive Zugangssteuerung;
- Stabilität der Anwendung auch bei großen Datenmengen.

Die Menge der zu bearbeitenden Datentupel hängt von der Anzahl der Energiezähler, der Anzahl der Werke und insbesondere auch von der Frequenz ab, mit welcher die Energiewerte abgerufen werden. Die Anzahl der Datensätze pro Jahr ergibt sich mit der Anzahl der installierten Zähler  $z$ , der Betriebszeit  $t$  und der Messfrequenz  $f$  zu:

$$\text{Datensätze pro Jahr} = \sum_{i=1}^z f \frac{\text{Messwerte}}{\text{Stunde}} \cdot t \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr}} \quad (5.1)$$

Da je Energiemesswert auch ein oder mehrere Produktionswerte (z.B. Produktionsmenge) gespeichert werden soll, steigt die Anzahl der jährlich zu speichernden Datentupel entsprechend. Zudem ist eine Betrachtung über mehrere Jahre wünschenswert, sodass sich in der Folge die Datenmenge noch weiter erhöht. Bei einem Unternehmen mit 40 Messgeräten, einer Betriebszeit von 7.200 Stunden und einer Messfrequenz von einer Messung pro Sekunde ergibt das beispielsweise jährlich rund eine Milliarde Datentupel.

Um die Abfragezeiten auch dieser hohen Datenvolumina gering zu halten, sind die Informationscluster der Datenbankstruktur in mehrere Datenbanktabellen aufgeteilt, bei der Datenredundanzen weitgehend vermieden werden.

Unter Berücksichtigung dieser Vorüberlegung ergibt sich die Struktur der Datenbank für das Energy-Cockpit. Die Datenbank besteht aus elf Tabellen. Eine Auflistung dieser Tabellen inklusive deren Funktion ist in Tabelle 22 gegeben.

Tabelle 22: Datenbanktabellen für eine Energie-Controlling-Software

Tabellenname	Beschreibung/ Funktion
Energieverbrauch	Speicherung der an den Energieverbrauchern gemessenen Energiewerte
Energiearten	Beinhaltet Informationen über die gemessenen Energiearten
Einheit	Einheit der Messgröße, z.B. Kilowattstunde
Produktionsdaten	Speicherung der im Unternehmen produzierten Produktionsmenge
Produkt	Enthält Informationen über alle im Unternehmen produzierten Produkte
Produkttyp	Gruppierung der Produkte zu Produktfamilien/ -kategorien
Planmengen	Speicherung der geplanten Produktionsmenge je Produkt pro Zeiteinheit
Verbraucher	Sammlung der Energieverbraucher des Werks
Verbrauchertyp	Gruppierung der Energieverbraucher zu Kategorien (Energieeinsatzbereiche)
Werk	Beinhaltet Informationen über die Werke des Unternehmens
Vorauswahl	Speicherung von Systeminformationen

Aus den Funktionen der Datenbanktabellen lässt sich die Datenbankstruktur inklusive der zugrundeliegenden Relationen ableiten, die im Anhang in Abbildung 78 als Entity-Relationship-Diagramm in der Krähenfußnotation dargestellt ist. Der aus der Datenbankstruktur und den Relationen resultierende Aufbau der Datenbanktabellen zur Erfüllung der notwendigen Funktionalitäten des Energy-Cockpits ist ebenfalls im Anhang in Tabelle 29 dargestellt und zur Veranschaulichung mit beispielhaften Werten versehen.

Ausgangspunkt der Betrachtung sind die Energieverbraucher. Jeder Energieverbraucher kann eine Vielzahl von Energiedaten verursachen. Jedem Energiewert muss dabei eine bestimmte Energieform zugewiesen sein (z.B. Druckluft, elektrischer Strom, Wärme), welche wiederum in einer spezifischen Einheit ausgedrückt wird.

Jeder Energieverbraucher ist einem Verbrauchertyp zugeordnet, sodass eine Gruppierung der Verbraucher zu Energieeinsatzbereichen möglich ist. Gleichzeitig ist zwar jeder Energieverbraucher einem Werk zugewiesen, durch die gewählte Datenbankstruktur ist es jedoch auch möglich, verschiedene Energieverbraucher werksübergreifend miteinander zu vergleichen. Grundlage für diese Strukturierung kann die Anlagenbuchhaltung sein.

Die aufgezeichneten Produktionsdaten werden eindeutig den Energieverbrauchern zugeordnet, die an der Herstellung dieses Produkts beteiligt waren. Die Produktionsdaten werden je Produkt erfasst. Die Produkte wiederum können in Produkttypen zusammengefasst werden. Parallel dazu wird eine Tabelle für die Planung von Produktionsmengen bestimmter Produkte bereitgestellt. Die Tabellenzeile „Vorauswahl“ dient zur Speicherung von Systeminformationen und ist nicht direkt an andere Tabellen gekoppelt.

### Formatierung der zu importierenden Energie- und Produktionsdatentabellen

Um die Aktualität der Datenbank zu gewährleisten, müssen die erhobenen Energie- und Produktionsdaten regelmäßig in die Datenbank importiert werden. Dies kann entweder durch Direkteinträge aus den Quellsystemen erfolgen oder mittelbar über Dateien. Da CSV-Dateien ein gängiges Format sind, welches von allen Messgeräteherstellern und als Exportformat vieler Softwaretools im Einsatz ist, wird es im Energy-Cockpit als Austauschformat verwendet.

Die Zuordnung zur Verknüpfung von Energie- und Produktionsdaten erfolgt über den Zeitstempel und den Fremdschlüssel „idVerbraucher“. Der Primärschlüssel wird bei Datenimport zugewiesen.

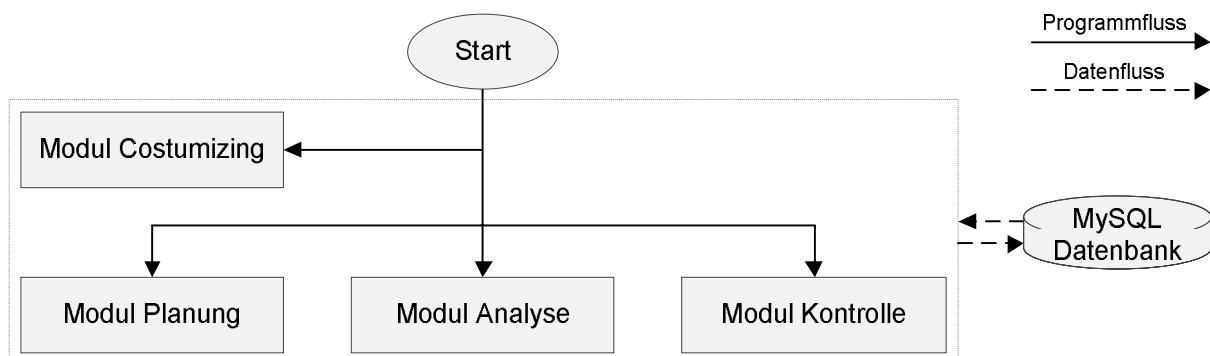
Tabelle 23 stellt die Struktur der Importtabellen exemplarisch dar.

*Tabelle 23: Struktur der Importtabellen des Energy-Cockpits*

Energiedaten				
Primärschlüssel	Zeitstempel	Verbrauch	idVerbraucher	idEnergieart
<i>wird zugewiesen</i>	2015-04-01 12:15:00	1,6	15	1
Produktionsdaten				
Zeitstempel	idVerbraucher	idProdukt	Menge (Stückzahl)	
2015-04-01 12:15:00	15	A8420	16	

### 5.1.3 Programmaufbau des prototypischen Energy-Cockpits

Der Aufbau des Energy-Cockpits ist in Abbildung 58 schematisch dargestellt.



*Abbildung 58: Sitemap des prototypischen Energy-Cockpits*

Das Energy-Cockpit ist in die Module Planung, Analyse und Kontrolle untergliedert. Zusätzlich ist ein Customizing-Modul zur Anpassung durch den Nutzer bereitgestellt. Nach Seitenaufruf hat der Nutzer die Möglichkeit, direkt zu jedem der Module zu

gelangen. Dabei kommuniziert jedes der Module mit der angeschlossenen Datenbank.

Im folgenden Absatz werden Aufbau und Funktionsweise der Module beschrieben. Hierzu werden für jedes Modul zunächst das Ablaufdiagramm und anschließend die Hauptansicht der Benutzeroberfläche dargestellt.

### Planung künftiger Energieverbräuche durch das Planungsmodul

Das Ablaufdiagramm des Planungsmoduls ist in Abbildung 59 dargestellt.

Der Benutzer gelangt auf die Planungsseite und wählt das zu planende Produkt (1). Die Vorjahresdaten und die Daten aus etwaigen früheren Planungsrunden werden aus einer Datenbank dynamisch geladen (2) und angezeigt (3). Der Benutzer hat die Möglichkeit, Vorjahreszahlen zu übernehmen oder neue Produktionszahlen einzutragen (4). Nach erfolgter Eingabe werden aus den Produktionszahlen die entsprechenden Energieverbräuche berechnet und in der Datenbank hinterlegt (5).

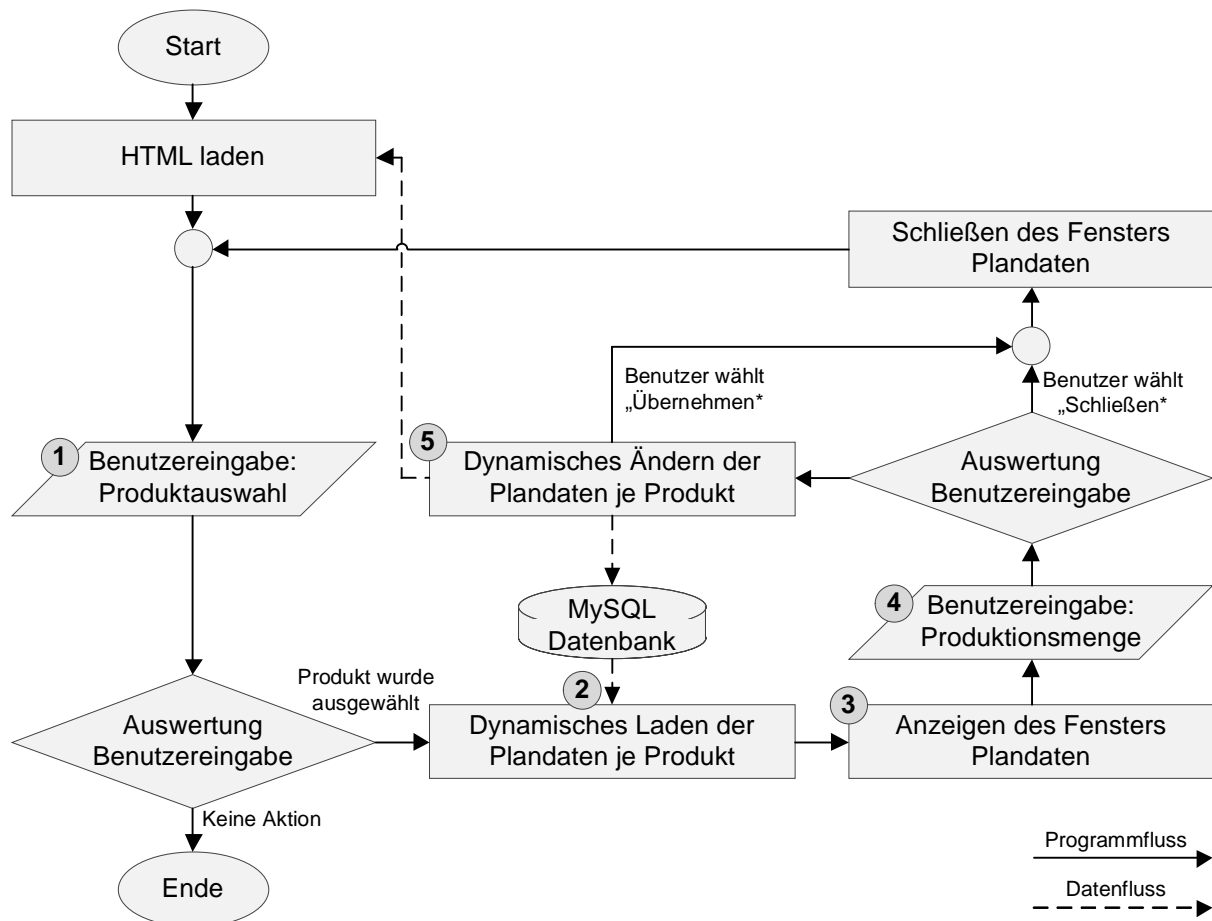


Abbildung 59: Ablaufdiagramm des Planungsmoduls

In der prototypischen Umsetzung des Energy-Cockpits ist die Planung von Energieverbräuchen auf Monatsebene, unterschieden nach hergestellten Produkten und einzelnen Werken, möglich.

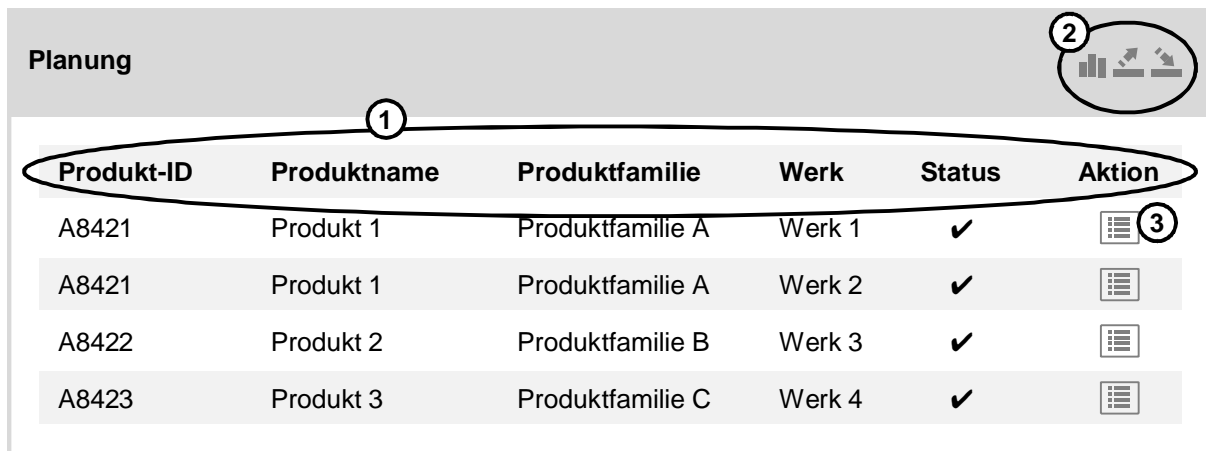
Zu Beginn der Planung steht die Eingabe der Produktionsmenge je Produkt, Monat und Werk. Die Berechnung der Energieverbräuche erfolgt auf Basis historischer Durchschnittswerte nach Formel 5.2. Je Monat  $M$  werden die produktabhängigen Werte für Energieverbräuche  $EV$  pro Stück  $n$  errechnet. Die Durchschnittswerte der spezifischen Verbräuche der vergangenen fünf Jahre bilden die Grundwerte für die Berechnung des Planwertes je Produkt  $P$  und Monat.

$$\emptyset EV_{M,P} = \frac{1}{5} \cdot \sum_{VJ=1}^5 \frac{EV_{VJ,M,P}}{n_{VJ,M,P}} \quad (5.2)$$

mit VJ = Vorjahr  
 $EV_{VJ,M,P}$  = Durchschnittlicher Energieverbrauch im Vorjahr VJ je  
 $M$  = Monat (Januar bis Dezember)  
 $P$  = Produktvariante

Die Berechnung des Energieverbrauchs je Produkt, Monat und Werk erfolgt schließlich, indem die eingegebene Produktionsmenge mit dem Durchschnittsenergieverbrauch dieses Monats und Produkts  $\emptyset EV_{M,P}$  multipliziert wird.

In Abbildung 60 ist die Hauptansicht des Planungsmoduls dargestellt.



Produkt-ID	Produktname	Produktfamilie	Werk	Status	Aktion
A8421	Produkt 1	Produktfamilie A	Werk 1	✓	
A8421	Produkt 1	Produktfamilie A	Werk 2	✓	
A8422	Produkt 2	Produktfamilie B	Werk 3	✓	
A8423	Produkt 3	Produktfamilie C	Werk 4	✓	

Abbildung 60: Hauptansicht des Planungsmoduls

In einer tabellarischen Übersicht (1) sind die planbaren Elemente hinterlegt. Die Tabelle besteht aus sechs Spalten, die jedes Produkt in jedem Werk eindeutig identifizieren. Die Spalte Status stellt dar, ob für das entsprechende Produkt bereits Werte geplant wurden. Mit den Schaltfeldern der Spalte Aktion (3) kann die Planung der jeweiligen Produkte durchgeführt werden. Die Schaltflächen in (2) führen zur grafischen Darstellung (links) bzw. zum optionalen Datenexport (mittig) und -import (rechts) der geplanten Werte.



Die Benutzeroberfläche zur Planung der Energieverbräuche ist in Abbildung 61 dargestellt.

Planung Produkt 1 in Werk 1		Übernehmen		Schließen
Monat	2014	2015	2016	
Januar	50.000	55.000	60.500	
Februar	51.000	56.100	61.710	
März	52.000	57.200	62.920	
...	...	...	...	

Abbildung 61: Oberfläche zur Planung der Energieverbräuche

In dieser Oberfläche können die geplanten monatlichen Stückzahlen je Produkt (und Werk) für die kommenden Planungsperioden eingetragen werden. Durch Betätigung der Schaltfläche (1) können die Vorjahreszahlen übernommen werden. Der alternative Datenimport erfolgt durch Einspielen von Tabellen in den Formaten XLS oder CSV. Die Importtabellen müssen die Struktur aus Tabelle 24 haben.

Tabelle 24: Struktur der Tabellen zum Plandatenimport

Produkt-ID	Produktname	Produktfamilie	Werk	Monat 1 Jahr 1	...	Monat 2 Jahr x
A8421	Produkt 1	Produktfamilie A	Werk 1	50.000	...	51.500
A8421	Produkt 1	Produktfamilie A	Werk 2	52.000	...	53.200
...	...	...	...	...	...	...

### Darstellung der Ist-Energieverbräuche mittels Analysemodul

Durch das Analysemodul können die energetischen Zusammenhänge von Unternehmen dargestellt werden.

Abbildung 62 zeigt das Ablaufdiagramm des Analysemoduls. Nach Aufruf des Moduls werden alle relevanten Parameter des Unternehmens aus der Datenbank geladen (1). Standardisierte oder manuell angepasste Einstellungen werden aus der Session Variablen geladen (2). Der nachfolgende Analysevorgang (3) ist in Abbildung 63 detailliert dargestellt. Die Auswahl des Benutzers führt unter Zugriff auf die Datenbank (4) zur Darstellung der gewünschten Diagramme und Tabellen. Gleichzeitig wird die Session Variable aktualisiert (5).

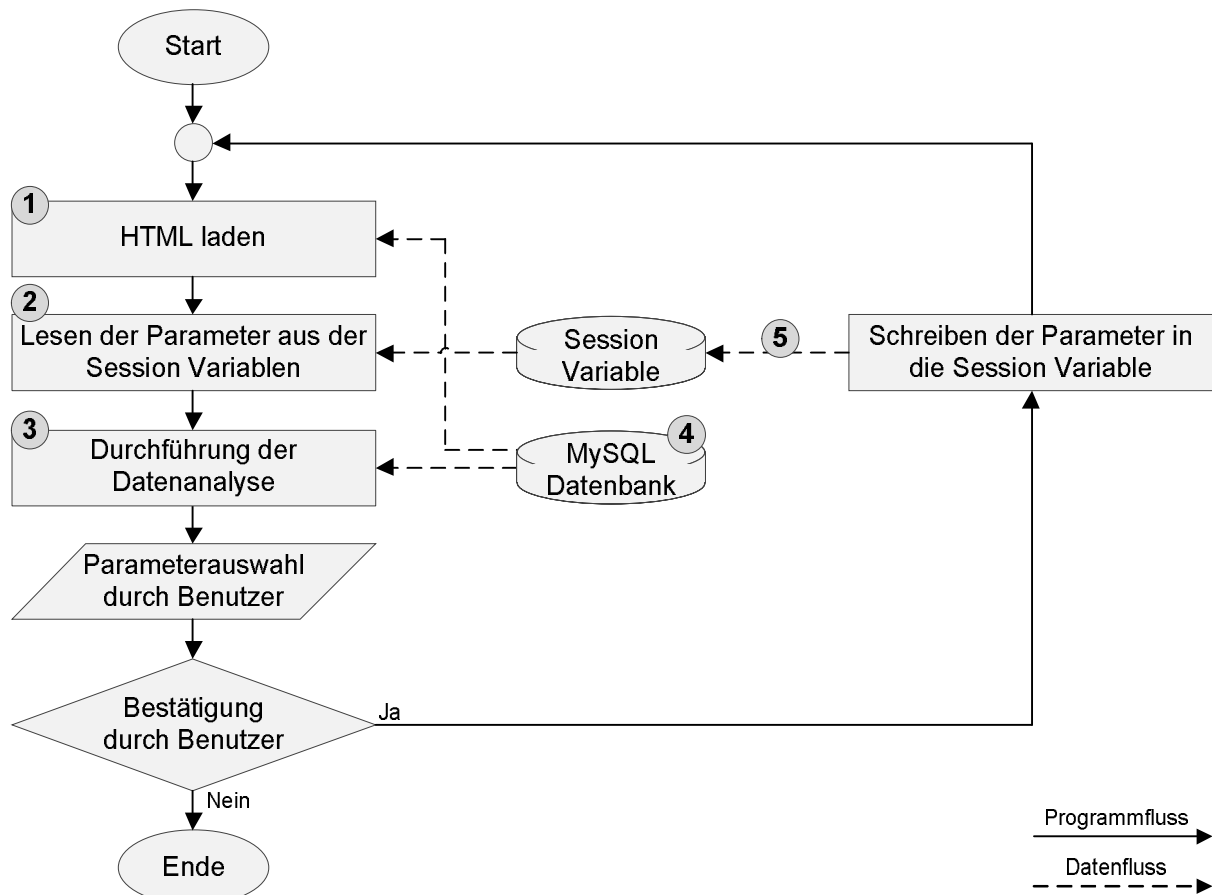


Abbildung 62: Ablaufdiagramm des Analysemoduls

Der Analysevorgang (Abbildung 63) untergliedert sich in acht Untermodule, die nacheinander aufgerufen werden.

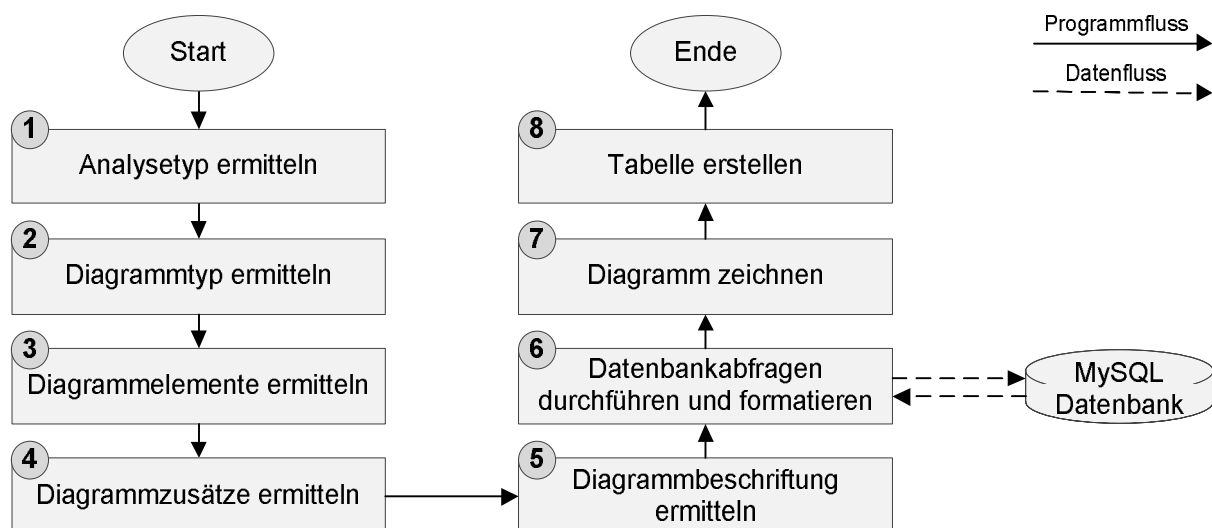


Abbildung 63: Ablaufdiagramm zur Durchführung der Analyse

In den Untermodulen (1) bis (5) werden die Diagrammparameter in Abhängigkeit der Benutzerauswahl bestimmt und vorgeladen. Untermodul (6) lädt die entsprechenden Daten aus der Datenbank und formatiert diese in ein geeignetes Format je nach Abfrage. Die Untermodule (7) und (8) erstellen schließlich das Diagramm zur Darstellung der abgefragten Parameter bzw. stellen die Daten tabellarisch dar.

Das Analysemodul bietet in vier Untermodulen die Möglichkeit, beliebige Diagramme aus den Daten der Datenbank zu generieren. Die vier Untermodule sind in Abbildung 64 dargestellt.

**Werks- und Verbraucherauswahl ①**

Werke	Aktion
<input type="checkbox"/> Werk 1	
<input type="checkbox"/> Werk 2	
<input type="checkbox"/> Werk 3	
...	...

**Produktauswahl ②**

Produktfamilien	Aktion
<input type="checkbox"/> Produktfamilie 1	
<input type="checkbox"/> Produktfamilie 2	
<input type="checkbox"/> Produktfamilie 3	
...	...

**Zeitauswahl ③**

Jahre	Monate
<input type="checkbox"/> 2015 <input type="checkbox"/> 2013	<input type="checkbox"/> Januar <input type="checkbox"/> Juli
<input type="checkbox"/> 2014 <input type="checkbox"/> 2012	<input type="checkbox"/> Februar <input type="checkbox"/> August
<input type="checkbox"/> Year-to-Date	<input type="checkbox"/> März <input type="checkbox"/> September
<input type="checkbox"/> Month-to-Date	<input type="checkbox"/> April <input type="checkbox"/> Oktober
Von: dd.mm.yyyy	<input type="checkbox"/> Mai <input type="checkbox"/> November
Bis: dd.mm.yyyy	<input type="checkbox"/> Juni <input type="checkbox"/> Dezember

**Optionen ④**

Energieform	Einheit
<input type="checkbox"/> Elektrischer Strom	kWh
<input type="checkbox"/> Druckluft	m³
<input type="checkbox"/> Wärme	kWh

**Ausgabe**

<input type="checkbox"/> Durchschnitt	<input type="checkbox"/> Absolut
<input type="checkbox"/> Total	<input type="checkbox"/> Spezifisch

Abbildung 64: Darstellung des Analysemoduls

Im Untermodul Werks- und Verbraucherauswahl (1) können die Energieverbraucher je Werk ausgewählt werden. Je nach Auswahl ist es möglich, ganze Werke, einzelne Verbraucher in einem Werk oder Verbraucher werksübergreifend gegenüberzustellen.

Das Untermodul Produktauswahl (2) ermöglicht die Darstellung von Verbräuchen für die Herstellung je Produktfamilie bzw. falls ausgewählt, auch je individuellem Produkt.

In der Zeitauswahl (3) kann der zeitliche Rahmen festgelegt werden. Die Gegenüberstellung der Verbräuche vergangener Jahre oder einzelner Monate im

Jahresverlauf ist dabei möglich. Werden einzelne Monate ausgewählt, wird der entsprechende Monatsverlauf in Tagen dargestellt. Die Auswahl einzelner Tage führt zur Darstellung der Energieverbräuche auf Stundenbasis.

Das Untermodul Optionen (4) ermöglicht die Spezifikation der Darstellung. Möglich ist die Eingrenzung auf bestimmte Energieformen, die Ausgabe übergreifender Durchschnitts- und aggregierter Gesamtwerte sowie die Unterscheidung zwischen absolutem und spezifischem (d.h. stückbezogenem) Energieverbrauch.

Die Untermodule zur Werks- und Verbraucherauswahl (1) sowie zur Produktauswahl (2) sind in Abbildung 65 dargestellt.

Es lassen sich ganze Verbraucherfamilien (auch als Energieeinsatzbereiche bezeichnet) oder einzelne Verbraucher auswählen (1). Im Untermodul Produktauswahl (2) können einzelne oder alle Produkte ausgewählt werden.

Jede getroffene Auswahl wird in Diagrammform dargestellt. Gleichzeitig ist es möglich, die entsprechenden Daten in eine XLS oder CSV Datei zu exportieren. So können die aus der Datenbank extrahierten, aggregierten und aufbereiteten Daten für etwaige weitere Verwendungszwecke ausgeleitet werden. Auch die Diagramme lassen sich in vektor- oder pixelbasierten Formaten speichern. Ausgewählte Parameter lassen sich speichern und wieder laden.

Werks- und Verbraucherauswahl ①		Produktauswahl ②
Werk 1		Produktfamilie 1
<b>Verbraucherfamilie</b>	<b>Verbraucher</b>	<b>Produktname</b>
<input type="checkbox"/> Pressenhaus	<input type="checkbox"/> Presse 1	<input type="checkbox"/> Produkt 1
	<input type="checkbox"/> Presse 2	<input type="checkbox"/> Produkt 2
<input type="checkbox"/> Heizhaus	<input type="checkbox"/> Ofen 1	<input type="checkbox"/> Produkt 3
	<input type="checkbox"/> Ofen 2	...
...		

Abbildung 65: Untermodule des Analysemoduls

### Varianzanalyse mit dem Kontrollmodul

Das Modul Kontrolle dient zur Gegenüberstellung geplanter und tatsächlicher Energieverbrauchswerte. Diese Gegenüberstellung kann für alle Energiearten und Produkte auf mindestens der Granularitätsebene erfolgen, auf der sie geplant und real erfasst werden. Eine Aggregation der Werte zu höheren Ebenen ist möglich.

Der Programmaufbau ist identisch zum Programmaufbau des Analysemoduls (Abbildung 62). Nach Aufbau des Moduls erhält der Benutzer die Möglichkeit, die Parameter des Kontrollschrittes auszuwählen. Die Datenbankabfragen erfolgen entsprechend der gewählten Parameter.

Die Auswahloberfläche des Kontrollmoduls ist in Abbildung 66 dargestellt.

The screenshot shows a software interface titled 'Controlling' with two buttons, 'Übernehmen' and 'Schließen', in the top right corner. Below the title bar, there are three selection controls arranged horizontally:

- Jahr:** A dropdown menu with a list of years: 2013, 2014, 2013, and 2012. The year 2013 is currently selected and highlighted.
- Werk:** A dropdown menu with a list of plants: Werk 3, Werk 1, Werk 2, and Werk 3. The entry 'Werk 3' at the bottom is currently selected and highlighted.
- Energieform:** A dropdown menu with a list of energy types: Elektrischer Strom, Elektrischer Strom, Druckluft, and Wärme. The entry 'Elektrischer Strom' is currently selected and highlighted.

Abbildung 66: Darstellung des Controllingmoduls

Die Darstellung der Kontrolldaten besteht aus den Plan- und Ist-Energieverbrauchswerten sowie den Plan- und Ist-Produktionsmengen. Sie kann getrennt nach Energiearten oder bewertet in einer gemeinsamen Einheit angezeigt werden.

Es kann ausgewählt werden, welches Jahr, welches Werk und welche Energieform betrachtet werden soll. Das Anwählen der Schaltfläche Übernehmen führt zum Ausführen der Datenbankabfrage und zur Darstellung des entsprechenden Diagramms. Auch hier können die jeweiligen Daten in eine XLS oder CSV Datei exportiert werden.

### Customizing-Funktion zur Anpassung der Energie-Controlling-Software

Um eine aufwandsarme und flexible Anpassbarkeit der Energie-Controlling-Software zu gewährleisten, ist ein Konfigurator bereitgestellt. Damit sollen Produkte, Anlagen, Werke und Energieformen, die mit der Energie-Controlling-Software verwaltet werden, hinzugefügt oder entfernt werden können, ohne dass Programmieraufwand entsteht. Der Benutzer erhält so die Möglichkeit, die Einträge und Kategorien in den Datenbanktabellen anzupassen. Abbildung 67 stellt das Ablaufdiagramm dieses Moduls dar.

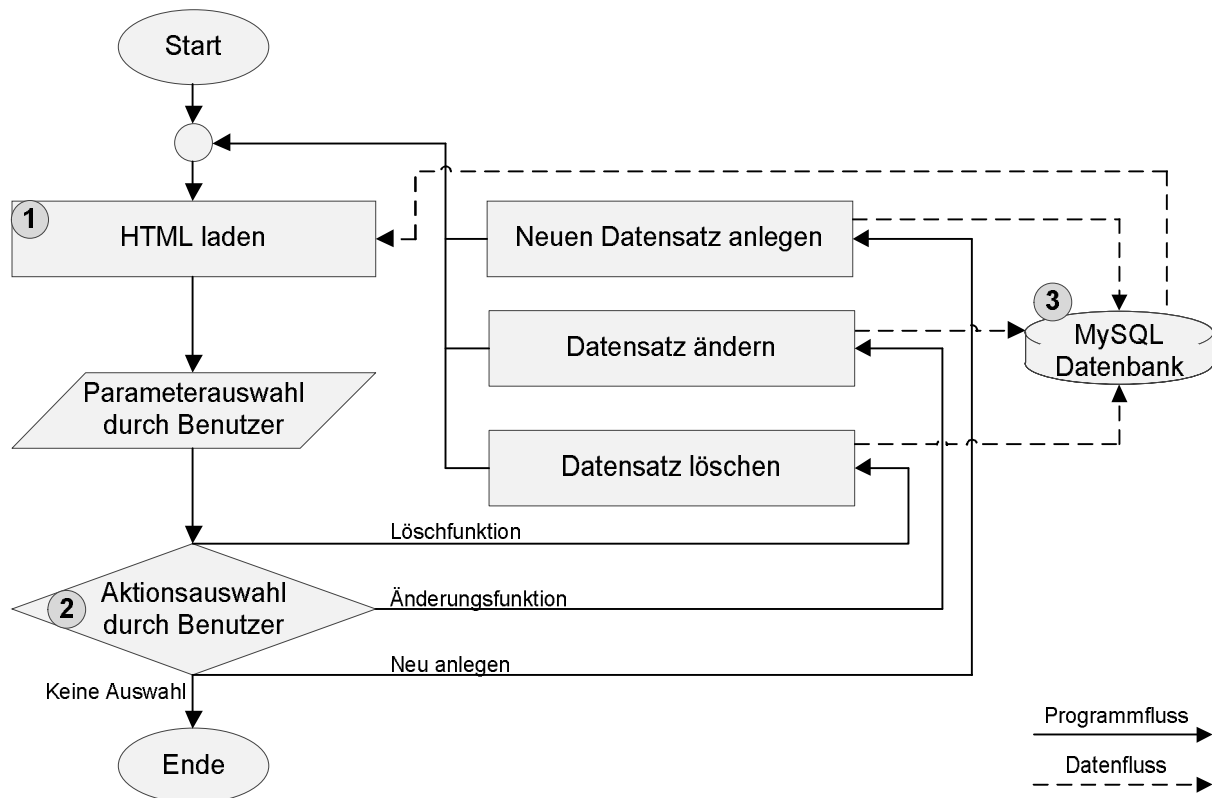


Abbildung 67: Ablaufdiagramm der Funktionalitäten des Customizing-Moduls

Nach Aufruf des Moduls werden alle relevanten Parameter des Unternehmens aus der Datenbank geladen (1). Nach dem Seitenaufbau hat der Nutzer die Option, Datensätze zu ändern, zu löschen oder neue Datensätze anzulegen (2). Die Änderungen werden in der Datenbank gespeichert (3). Im Anschluss wird die komplette Seite neu geladen, sodass der Prozess von neuem beginnen kann.

## 5.2 Test des Energy-Cockpits anhand zweier Anwendungsbeispiele

Um die Einsatzmöglichkeiten des prototypischen Energy-Cockpits zu testen, wird es an zwei realen Anwendungsfällen getestet. Die Sachverhalte, Zusammenhänge und Umfeld der Unternehmen werden beschrieben, Details jedoch anonymisiert.

Durch die Anwendung des prototypischen Energy-Cockpits sollen

- die Funktionalitäten des Energy-Cockpits getestet,
- die Einsatzmöglichkeiten dargestellt und
- Weiterentwicklungspotenziale offengelegt

werden.

Dabei sind die Anwendungsfälle so gewählt, dass die Erkenntnisse allgemeingültig und übertragbar sind. Zu diesem Zweck werden die Module des Energy-Cockpits auf

hoher Aggregationsstufe (im Folgenden anhand von „Unternehmen 1“) bis zur Betrachtung einer einzelnen Montagestation (im Folgenden anhand von „Unternehmen 2“) eingesetzt.

### 5.2.1 Darstellung der Anwendungsumgebungen

Im Folgenden wird am Beispiel der Unternehmen 1 und 2 dargestellt, wie das Energy-Cockpit in IT-Infrastrukturen eingebunden werden kann. Dabei werden zunächst die Referenzproduktionsprozesse mitsamt deren Energieverbraucher erläutert. Im Anschluss erfolgt die Beschreibung der Messwerteerhebung und Kommunikation mit dem Energy-Cockpit.

#### Anwendungsumgebung von Unternehmen 1

Der Fertigungsprozess von Unternehmen 1 ist in Abbildung 68 dargestellt.

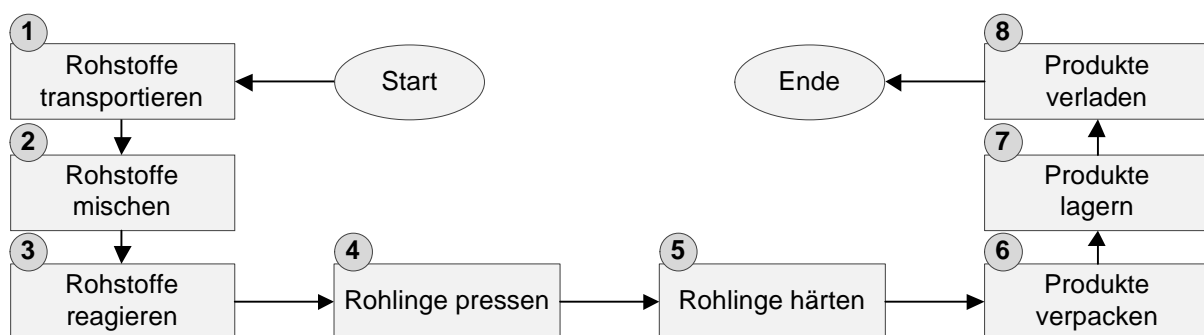


Abbildung 68: Materialfluss von Unternehmen 1

Unternehmen 1 produziert in acht Werken Produkte in drei verschiedenen Produktfamilien, wobei alle Werke die gleichen Produkte herstellen. Die Gesamtausbringungsmenge des Unternehmens beträgt jährlich ca. 14,4 Mio. Stück. Die Ausbringungsmenge der einzelnen Produktfamilien beträgt je etwa ein Drittel.

Im Wesentlichen werden drei Rohstoffe A, B und C von Zulieferern zum Werk gebracht und in Rohstoffspeichern gelagert. Nach Abruf gelangen sie über Transportbänder (1) in die Mischerei. Hier erfolgt die Mischung der Rohstoffe nach festgelegten Rezepten (2). Transportbänder befördern die Mischungen zur Reaktion in Reaktoren (3). Nach erfolgter Reaktion werden die Rohstoffe in den Pressen zu Rohlingen gepresst (4), um anschließend in Autoklaven (5) gehärtet zu werden. Es folgen Verpackungs- und Lagerungsprozesse (6 und 7), bis die Produkte schließlich für den Transport zum Kunden verladen werden.

Da alle Werke die gleichen Produkte nach dem gleichen Fertigungsprozess herstellen, können die Energieeinsatzbereiche sehr ähnlich definiert werden. Marginale Änderungen ergeben sich auf Grundlage der individuellen elektrischen Anschlussstruktur.

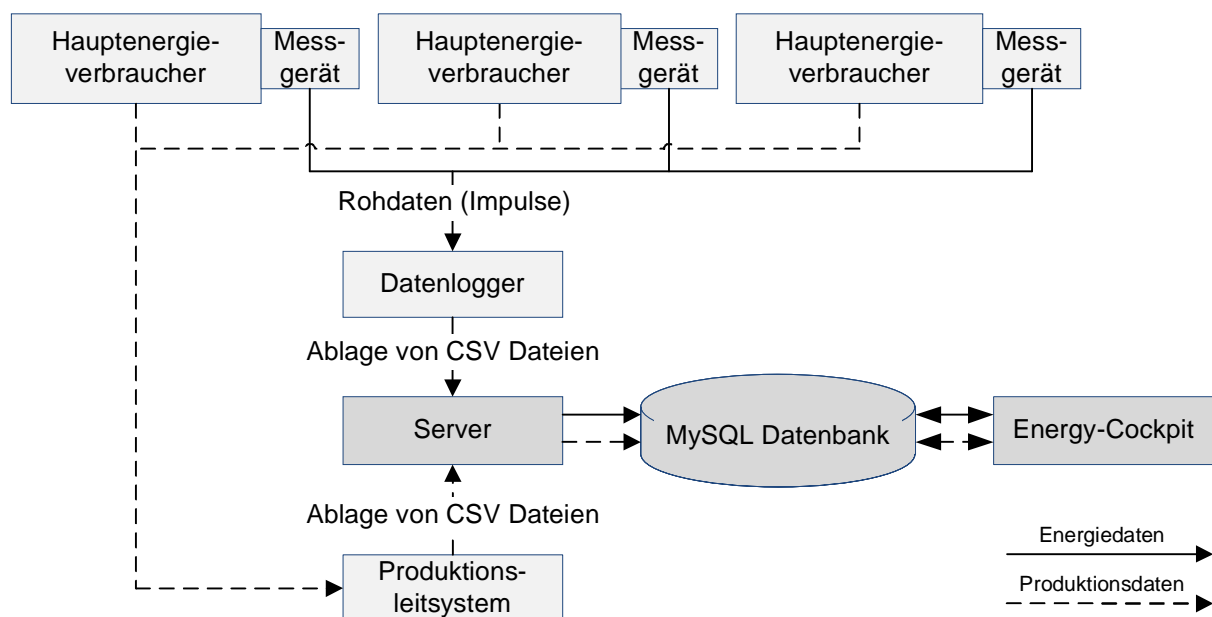
Die Energieeinsatzbereiche mit den jeweiligen Hauptenergieverbrauchern sind in Tabelle 25 aufgeführt.

*Tabelle 25: Auflistung der Energieeinsatzbereiche und Hauptabnehmer aus Unternehmen 1*

Energieeinsatzbereich	Hauptenergieverbraucher	Energiearten
Transport	Förderbänder und Krane	Elektrischer Strom
Mischerei	Antriebsmotoren	Elektrischer Strom
Pressen	Pressen 1 bis 4	Elektrischer Strom
Autoklaven	Brenner	Öl oder Gas
Materialrückführung	Förderbänder	Elektrischer Strom
Verpackung	Folierautomat und Krane	Elektrischer Strom
Kompressoren	Kompressoren 1 bis 3	Elektrischer Strom
Gebäude	IKT	Elektrischer Strom
Sonstige	Beleuchtung, Pumpen	Elektrischer Strom

IKT = Informations- und Kommunikationstechnik

Der Datenfluss von Verbrauchern zum Energy-Cockpit ist in Abbildung 69 schematisch dargestellt.



*Abbildung 69: Einbettung des Energy-Cockpits in die IT-Infrastruktur des Unternehmens*

Die Energieeinsatzbereiche sind mit Energiezählern versehen. Im Rahmen der prototypischen Implementierung des Energy-Cockpits bei Unternehmen 1 werden nur die Stromverbräuche aufgenommen. Diese werden über Hutschienenwandler in



den Schaltschränken abgegriffen. Die gewonnenen Impulse werden mittels Bus an einen Datenlogger kommuniziert. Dieser versendet die Energiedaten über Ethernet-Protokolle an einen Server und legt diese in CSV-Form ab. Die Produktionsdaten werden anhand der Produktionsaufträge ermittelt und im ERP-System des Unternehmens gespeichert. Über eine automatisierte Exportfunktion werden CSV-Dateien mit den entsprechenden Produktionsdaten auf dem Server abgelegt. Die MySQL-Datenbank des Energy-Cockpits greift auf die CSV-Dateienpaare zu und importiert diese in die entsprechenden Datenbanktabellen. Das Energy-Cockpit kommuniziert schließlich je nach Benutzeranfrage mit der Datenbank.

## Anwendungsumgebung von Unternehmen 2

Im Montageprozess von Unternehmen 2, der für das Testen herangezogen wird, werden in einem achsstufigen Prozess Motorkomponenten montiert. Die Ausbringungsmenge pro Jahr beträgt 1,2 Mio. Stück. Zu Beginn werden an einer Kopfstation Gehäuseteile auf einen Werkstückträger montiert. In den vier folgenden Stationen 101 bis 104 werden Formnester, die sich auf den Werkstückträgern befinden, mit Montageteilen bestückt, welche in den nachfolgenden Stationen verarbeitet werden. In Stationen 105 und 106 wird je ein Ventil verpresst. Schließlich wird durch Kondensatorentladungsschweißen ein Aktor an das Gehäuse gefügt. An allen Stationen wird elektrischer Strom und Druckluft verbraucht.

Der Montageprozess ist in Abbildung 70 dargestellt.

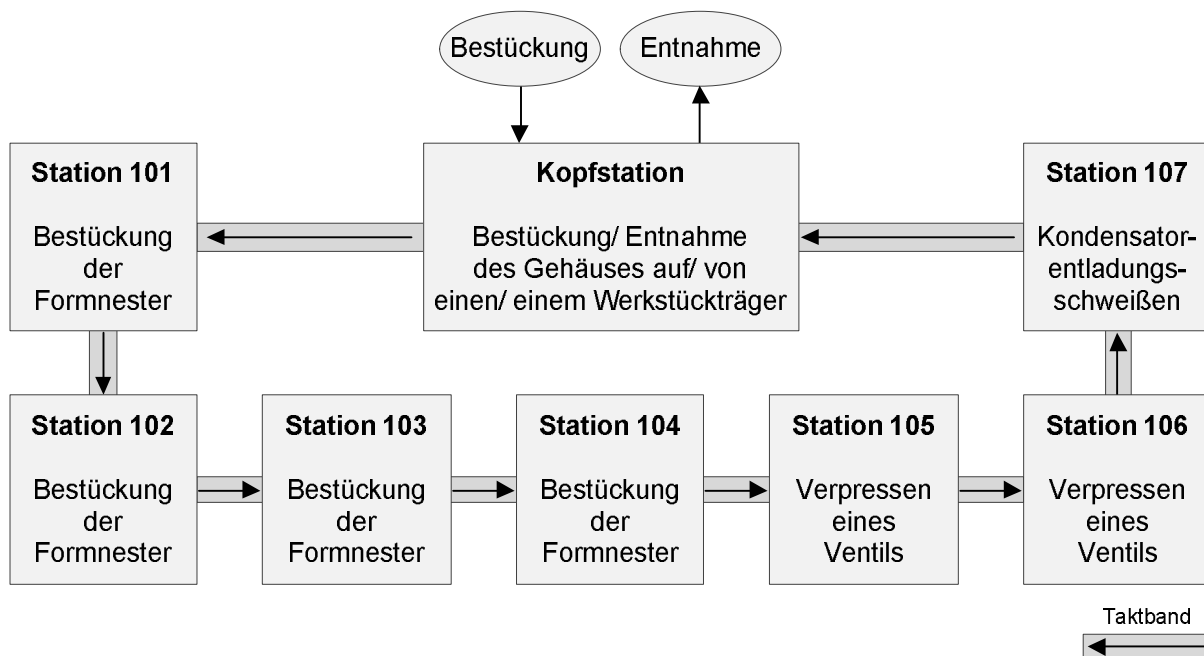


Abbildung 70: Darstellung des Montageprozesses aus Unternehmen 2

Die Messwerterhebung der Verbräuche ist in Abbildung 71 dargestellt. Die Energiemessgeräte sind in den Schaltschränken der Montagestationen in Form von

Stromwandlern installiert. Der Druckluftverbrauch wird über Durchflussmessgeräte ermittelt. Die Messsignale werden durch Analog-Digital-Wandler in elektrische Signale umgewandelt. Die Strom- und Druckluftsignale werden von der Steuerung ausgelesen und in Kombination mit einem Zeitstempel in Form von Logdateien auf einem Leitrechner abgelegt. Von dort werden die Logdateien mittels Parser in CSV-Dateien umgewandelt und auf einem Server abgelegt. Diese CSV-Dateien werden in die MySQL Datenbank des Energy-Cockpits importiert und stehen dem Energy-Cockpit für Abfragen zur Verfügung. Die Messwertaufnahme erfolgt im Takt des Montageprozesses. Die Anzahl der produzierten Stück lässt sich also direkt aus der Anzahl der Energiedaten ableiten.

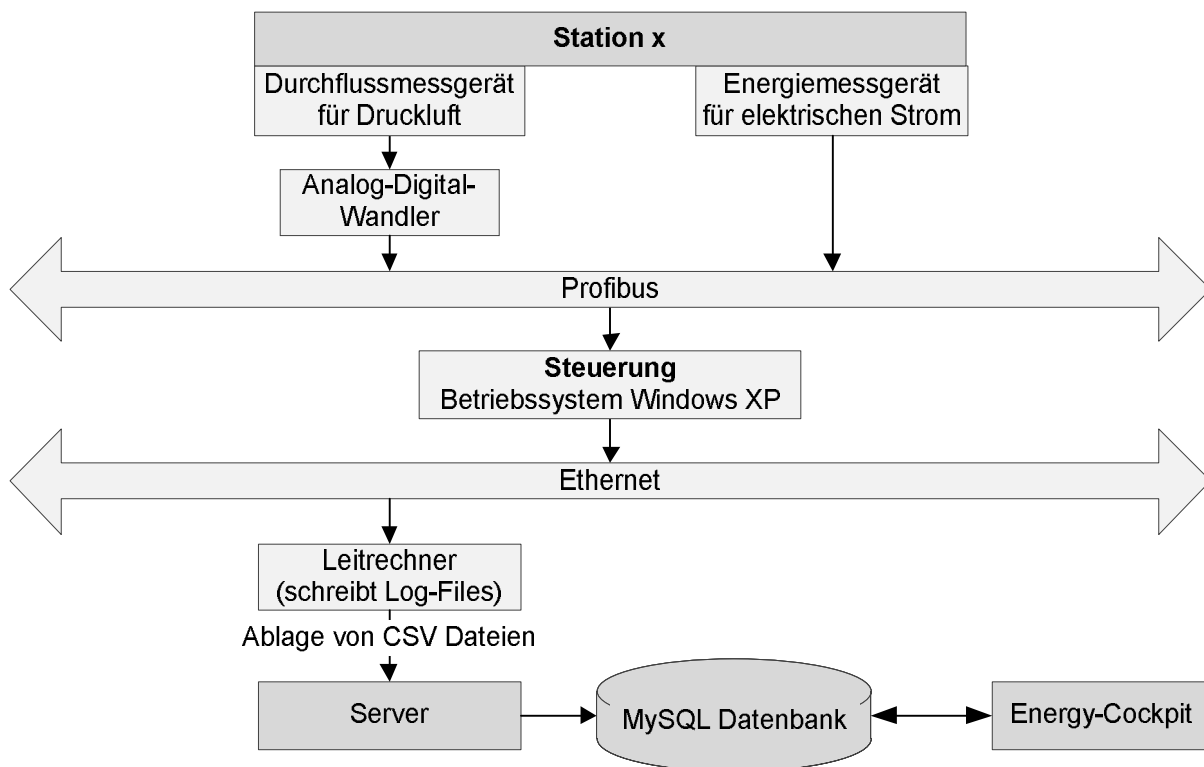


Abbildung 71: Messwerterhebung und Anbindung an das Energy-Cockpit

### 5.2.2 Anwendung des Energy-Cockpits an Unternehmen 1

Im Folgenden wird das Energy-Cockpit unter Verwendung der Energie- und Produktionswerte von Unternehmen 1 getestet. Die Ergebnisse der Anwendung des Energy-Cockpits sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Abbildung 72 zeigt die Stromverbräuche der Werke 1 bis 4 im zeitlichen Verlauf. Man erkennt, dass die Stromverbräuche in den Wintermonaten geringer sind als im Frühjahr und Herbst. Die Werke 1 und 2 weisen zudem höhere Stromverbräuche auf als die anderen beiden Werke. Dies liegt entweder an einer schlechteren Energieeffizienz oder an einer höheren Produktionsmenge. Um dies festzustellen, ist die Betrachtung der spezifischen Stromverbräuche sinnvoll.

**Analyse**

Werksvergleich, Werke 1 – 4, absolute Stromverbräuche, Jahre 2014 – 2015

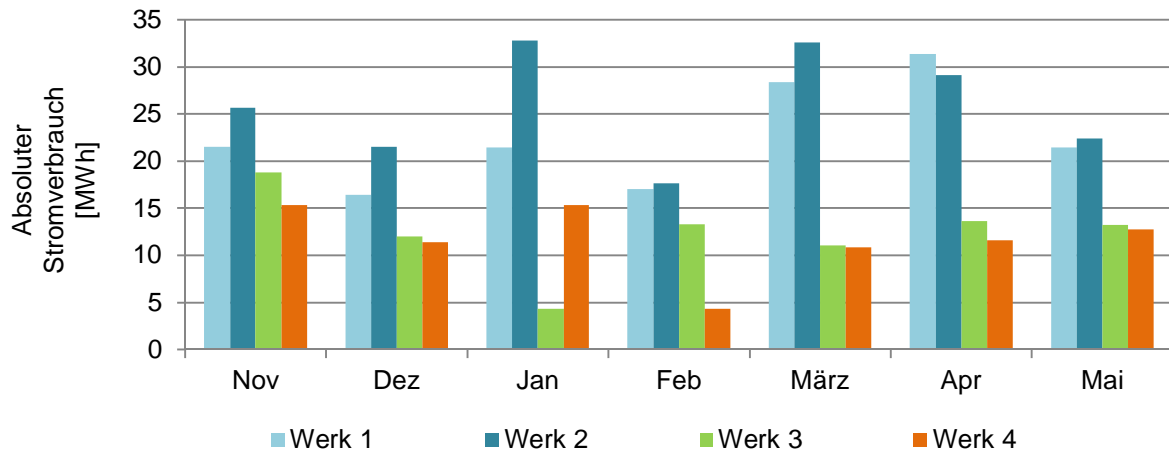


Abbildung 72: Werksübergreifender Vergleich der absoluten Stromverbräuche

Daher sind in Abbildung 73 für die gleichen Werke im gleichen Zeitraum die Stromverbräuche pro 1.000 produzierten Stück aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Werke 1 und 2 beinahe durchgehend eine höhere Energieproduktivität aufweisen als die Werke 3 und 4. In den Monaten April und Mai ist die Energieproduktivität aller Werke (witterungsbedingt) insgesamt besser als in den Monaten Dezember und Januar.

**Analyse**

Werksvergleich, Werke 1 – 4, spezifische Stromverbräuche, Jahre 2014 – 2015

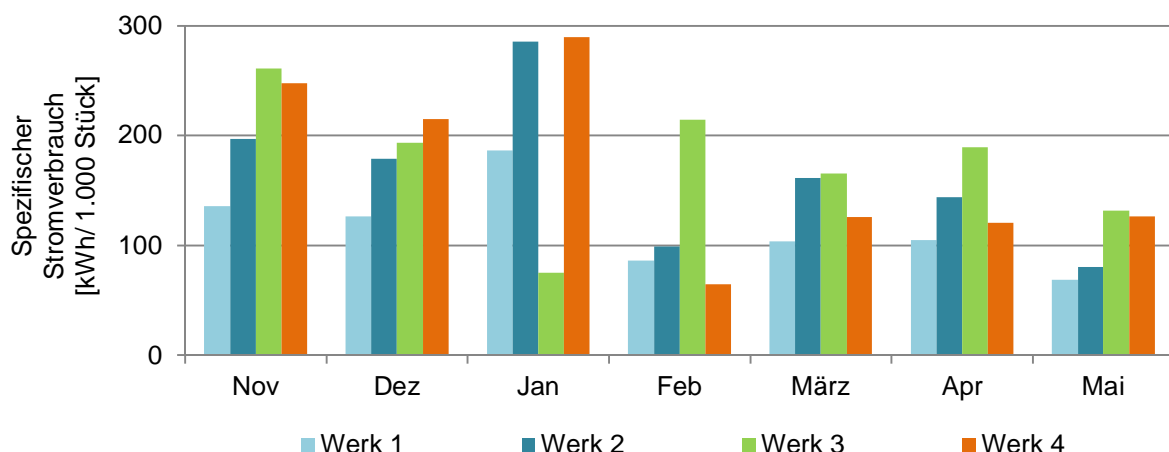


Abbildung 73: Werksübergreifender Vergleich der spezifischen Stromverbräuche

Zur Planung der künftigen Verbräuche der Werke 1 bis 4 wurde die Stückzahlenplanung des Vertriebs der Planjahre 2015 und 2016 auf Monatsbasis (siehe Abbildung 79 im Anhang) in das Energy-Cockpit überführt. Abbildung 74 stellt die daraus ermittelten Plan-Stromverbräuche mit den Ist-Stromverbräuchen dar.

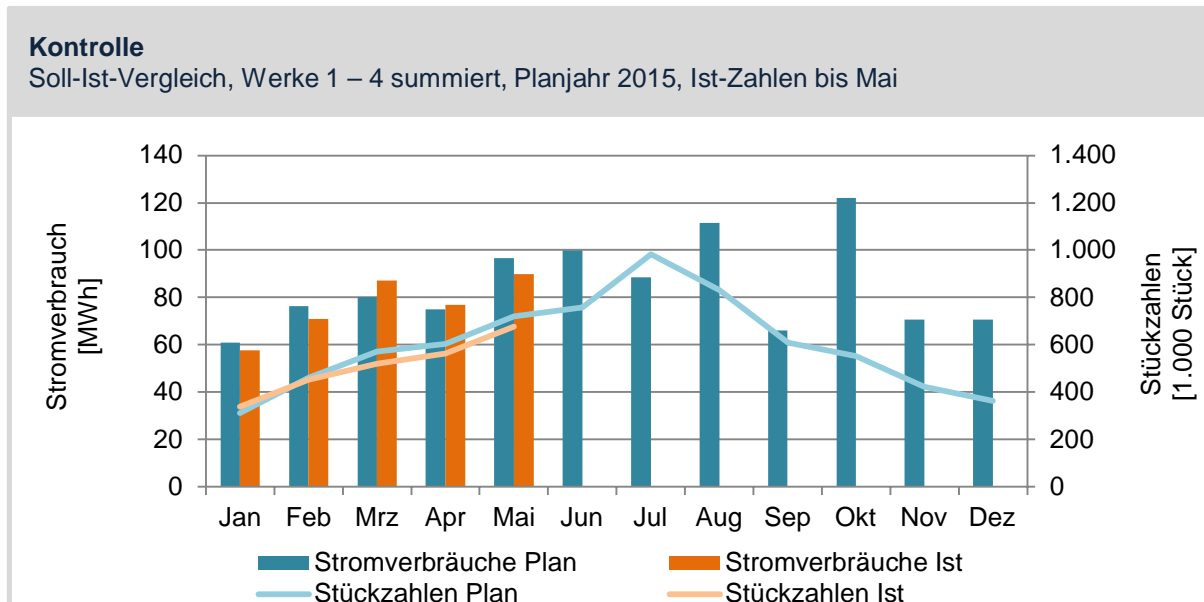


Abbildung 74: Soll-Ist-Vergleich der Stromverbräuche im Planjahr 2015

Man erkennt, dass die Plan- und Ist-Werte der Monate Januar bis Mai gut beieinander liegen. Die geplanten Stückzahlen liegen beinahe durchgängig höher als die Ist-Stückzahlen, sodass auch die Ist-Stromverbräuche niedriger sein sollten. In den Monaten März und April trifft dies jedoch nicht zu. Im vorliegenden Fall ist das durch eine Überlagerung mehrerer Umstände begründet. In einigen Werken traten unbemerkte Leckagen in der Druckluftversorgung auf. In anderen verursachten Verschleißteile an den Pressen höhere Reibungen, sodass der Stromverbrauch deutlich zunahm. Nach Behebung der Ursachen war im Monat Mai der spezifische Strombedarf wieder gesunken. Ab dem Monat Juni liegen im Anwendungsbeispiel keine Ist-Zahlen mehr vor.

Weitere Darstellungen des Energy-Cockpits bezüglich der Stromverbräuche eines Werks auf Anlagenebene (Abbildung 80), der spezifischen Pressenstromverbräuche mehrerer Werke (Abbildung 81) sowie der Pressenstromverbräuche eines einzelnen Werks (Abbildung 82) befinden sich im Anhang.

### 5.2.3 Anwendung des Energy-Cockpits an Unternehmen 2

Nachdem im ersten Anwendungsfall der Fokus auf der werksübergreifenden Anwendung lag, soll im zweiten Beispielunternehmen die Eignung des Energy-Cockpits auf Prozessebene getestet werden.

In Abbildung 75 sind die spezifischen Stromverbräuche einer Station (Nummer 105) an mehreren Tagen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der spezifische Stromverbrauch über mehrere Tage hinweg sehr konstant bleibt.

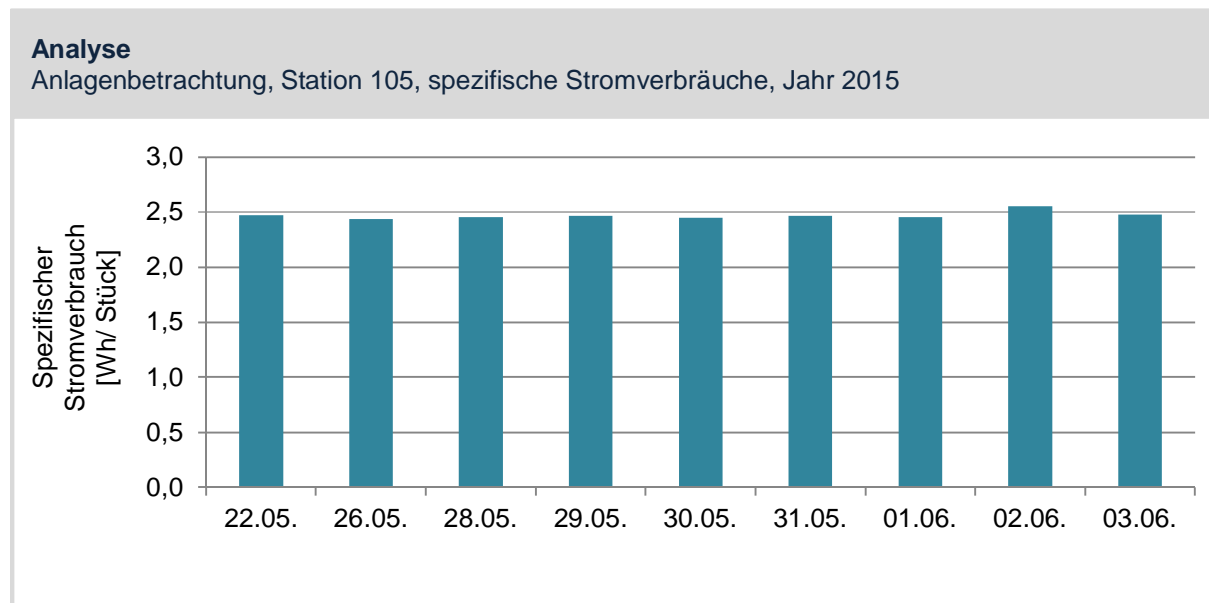


Abbildung 75: Vergleich spezifischer Stromverbräuche über mehrere Tage hinweg

Eine genauere Analyse des spezifischen Stromverbrauchs ist in Abbildung 76 gegeben. Auch innerhalb eines Tages ist ein konstanter spezifischer Stromverbrauch erkennbar.

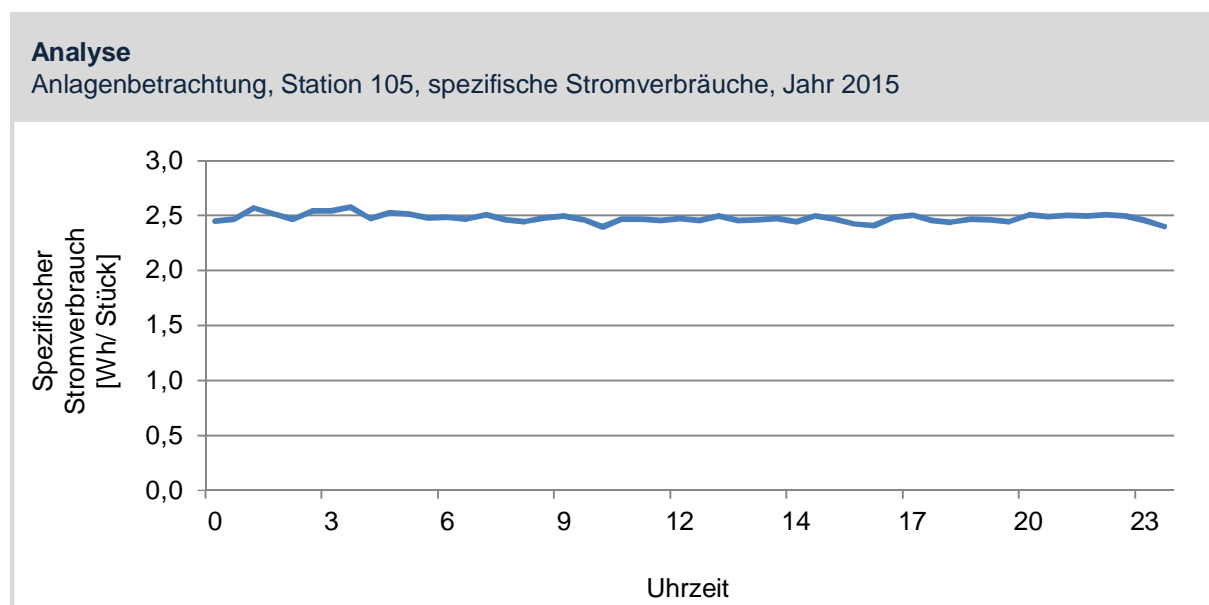


Abbildung 76: Betrachtung des spezifischen Stromverbrauchs im Tagesverlauf

Abbildung 77 zeigt schließlich den Druckluftverbrauch aller Stationen 101 bis 107. Die Stationen 105 bis 106 weisen prozessbedingt einen deutlich höheren Druckluftverbrauch auf als die Stationen zur Bestückung der Formnester, wie das Diagramm unterstreicht.

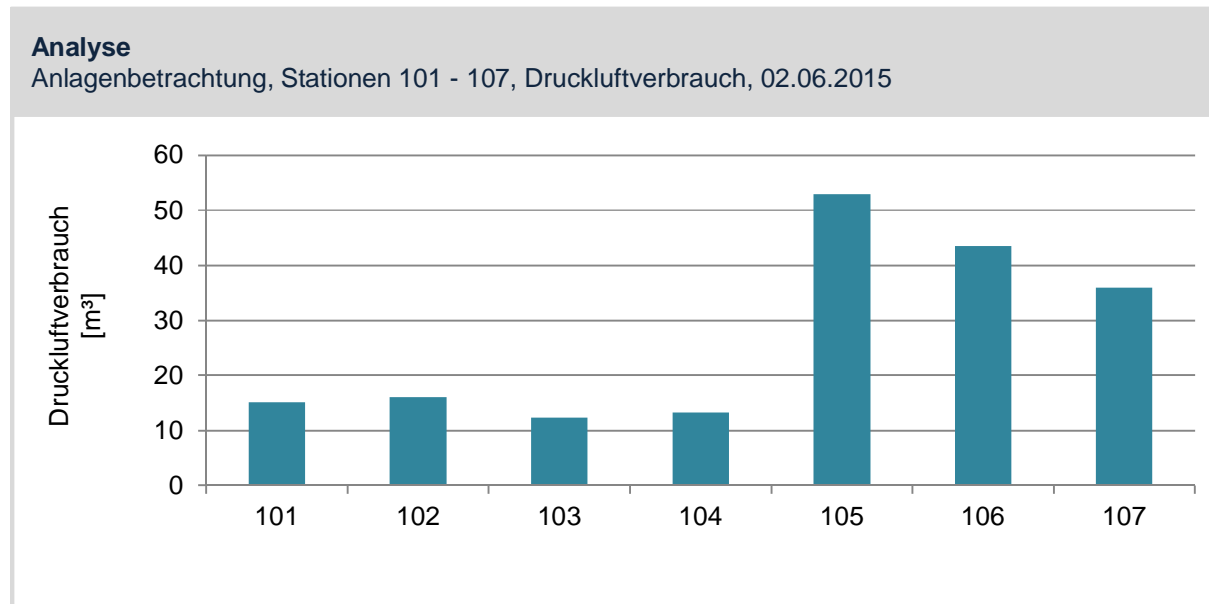


Abbildung 77: Gegenüberstellung der Druckluftverbraucher im Montageprozess

### 5.3 Kritische Betrachtung des Energy-Cockpits

Die Eignung der prototypischen Software Energy-Cockpit zur Unterstützung des Energie-Controllings wurde anhand zweier Fallbeispiele getestet. Im folgenden Abschnitt werden die Praxistests bewertet, um daraus Weiterentwicklungspotenziale abzuleiten.

#### 5.3.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Testphase

Das webbasierte Energy-Cockpit greift im Fallbeispiel des Unternehmens 1 auf vollständige Energiedatensätze für einen Zeitraum von sieben Monaten zurück. Die Detailbetrachtung umfasst vier der acht Werke. In allen Werken liegen die Stromverbräuche für acht Energieeinsatzbereiche mit einer Auflösung von vier Messwerten pro Stunde vor. Die Erfassung von Gasverbräuchen zur Wärmeherzeugung ist nicht Teil des Fallbeispiels. Die Produktionsdaten liegen aggregiert zu Gesamtstückzahlen vor. Eine Unterscheidung nach Produktfamilien ist nicht möglich. Somit entfällt im Rahmen des Tests auch die Möglichkeit, unterschiedliche Stromverbräuche der Pressen bei unterschiedlichen Produktvarianten darzustellen, obwohl das Energy-Cockpit hierzu imstande wäre. Trotz des hohen Datenvolumens von über 1,2 Mio. Datensätzen können einfache Abfragen in unter einer Sekunde, komplexe Abfragen in unter fünf Sekunden bearbeitet werden.






Der Einsatz des Energy-Cockpits im Fallbeispiel des Unternehmens 2 hat Strom- und Druckluftverbrauchsdaten eines Montageprozesses mit acht Stationen als Grundlage. Die Daten liegen für neun Einzeltage vor. Die Auflösung der Daten beträgt sieben Sekunden. Pro Energiedatum wurde eine Komponente verarbeitet. Im zweiten Fallbeispiel wurden über 750 Tsd. Datensätze innerhalb weniger Sekunden verarbeitet.









Die grundsätzliche Leistungsfähigkeit des webbasierten Prototypen ist damit gezeigt, wobei aufgrund ungenügender Datengrundlage nicht alle Funktionen getestet werden konnten.

### 5.3.2 Gegenüberstellung von Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software und Umsetzungsgrad durch das Energy-Cockpit

Die Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software, wie sie in Absatz 2.4.3 beschrieben wurden, und der Umsetzungsgrad des prototypischen Energy-Cockpits sind in Tabelle 26 gegenübergestellt.

*Tabelle 26: Gegenüberstellung von Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software und Umsetzungsgrad durch das Energy-Cockpit*

Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software	Umsetzungsgrad durch das Energy-Cockpit	
Anforderungen aus Sicht des Energie-Controllings		
Planung künftiger Energieverbräuche	Energieverbräuche können auf Produktebene je Werk und Monat geplant werden. Energieverbräuche für einzelne Arbeitsvorgänge im Sinne des KEA <sub>H</sub> *-Kennwerteschemas können nicht geplant werden.	
Darstellung absoluter und spezifischer Energieverbräuche eines Unternehmens	Möglichkeit zur Darstellung der Energieverbräuche aller Anlagen und Verknüpfung mit den Produktionsmengen ist gegeben. Verbraucher können werksübergreifend und in verschiedenen Zeitreihen miteinander verglichen werden.	
Gegenüberstellung von Soll- und Ist-Energieverbräuchen	Auswahl des Betrachtungsjahrs, des Werks und der Energieform zur Darstellung von Soll- und Ist-Verbräuchen in Diagrammform. Es können alle Soll- und Ist-Werte verglichen werden, die im Planungsmodul geplant wurden.	
Anforderungen aus Sicht eines Energiemanagementsystems (nach DIN EN ISO 50001)		
Formulierung strategischer Ziele	Nicht umgesetzt	
Planung operativer Maßnahmen	Nicht umgesetzt	

Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software	Umsetzungsgrad durch das Energy-Cockpit	
Rückverfolgung von Maßnahmen durch Messwerte	Rückverfolgung ist durch das Analysemodul möglich. Eine automatisierte Verknüpfung mit definierten Maßnahmen ist jedoch nicht möglich.	
Aufnahme und Koordination von Verbesserungsvorschlägen der Mitarbeiter	Nicht umgesetzt	
Bereitstellung eines Rechtskatasters über energiebezogene Auflagen	Nicht umgesetzt	
Berichterstattung für die Auditierung von Energiemanagementsystemen per Knopfdruck	Die Diagramme des Energy-Cockpits können in verschiedene Formate inklusive CSV- und XLS-Dateien exportiert werden. Ein umfassender Bericht kann jedoch nicht direkt exportiert werden.	
<b>Allgemeine Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software</b>		
Beantwortung auch von komplexen Abfragen innerhalb von höchstens 20 Sekunden	Gegeben	
Möglichkeit zur intuitiven Analyse bei beliebiger Kombination von Abfrageparametern	Gegeben	
Multiuserbetrieb	Gegeben	
Stabilität der Anwendung auch bei großen Datenmengen	Gegeben	



Anteil der schwarzen Fläche entspricht dem Erfüllungsgrad

KEA<sub>H</sub>\* = Kumulierter Energieaufwand der Herstellung

Aus Sicht des Energie-Controllings wurden wesentliche Funktionen erfolgreich umgesetzt. Energieverbräuche können auf Produktebene, werksindividuell und monatsbezogen geplant werden. Gleichzeitig können alle Energieverbrauchswerte, die durch Messung erfasst und in der Datenbank hinterlegt sind, zu Analyse Zwecken dargestellt werden. Somit ist es auch möglich, geplante Verbrauchswerte mit tatsächlichen Verbräuchen gegenüberzustellen.

Das Energy-Cockpit bietet jedoch noch keine Möglichkeit, die einzelnen Elemente des KEA<sub>H</sub>\*-Kennwerteschemas im Detail zu planen. Die Analyse und Kontrolle der KEA<sub>H</sub>\*-Kennwerte ist folglich ebenfalls noch nicht möglich.



Bei der prototypischen Umsetzung standen die Anforderungen aus Sicht eines Energiemanagementsystems nicht im Fokus. Die Formulierung strategischer Ziele und operativer Maßnahmen wird daher nicht unterstützt. Allerdings können operative Maßnahmen indirekt durch die Verwendung des Analysemoduls verfolgt werden. Ein betriebliches Vorschlagswesen für Energieeffizienz sowie die Bereitstellung eines Rechtskatasters ist nicht gegeben. Die Berichterstattungsfunktion ist durch die Möglichkeit gegeben, Diagramme in pixel- oder vektorbasierte Formate zu exportieren. Zudem können die durch das Energy-Cockpit aufbereiteten Daten in CSV- und XLS-Dateien exportiert werden. Ein umfassender Audit-Bericht kann durch das Energy-Cockpit jedoch nicht generiert werden.

Die allgemeinen Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software mit Blick auf Softwareergonomie wurden vollständig erfüllt. Insbesondere die schnelle Datenverarbeitung ist hervorzuheben. Durch die webbasierte Umsetzung ist auch paralleles Arbeiten im Multi-User-Betrieb ohne Probleme möglich.

### **5.3.3 Entwicklungspotenziale des Energy-Cockpits**

Die Gegenüberstellung der Anforderungen an eine Energie-Controlling-Software mit den Ergebnissen aus dem Testbetrieb haben gezeigt, dass noch offene Handlungsfelder bestehen.

#### **Planungsmodul**

Das Planungsmodul sollte die Möglichkeit bereitstellen, Energieverbräuche noch differenzierter zu planen. Hierzu bietet es sich an, das  $KEA_H^*$ -Kennwerteschema im Planungsmodul abzubilden und die Energieverbraucher, die mit Messgeräten versehen sind, mit den  $KEA_H^*$ -Elementen zu verknüpfen. Vor diesem Hintergrund sollte insbesondere auch eine Importschnittstelle zur Berücksichtigung der Energieverbräuche bei der Herstellung von Vorleistungen ( $KEA_H^*$ -MEV) implementiert werden.

#### **Analysemodul**

Das Analysemodul stellt die grundlegenden Funktionen bereit, über die eine Energie-Controlling-Software verfügen sollte. Im Vergleich mit dem Spektrum der Analysefunktionen, die marktseitig angeboten werden, besteht jedoch Verbesserungspotenzial. Insbesondere ist hier die Festlegung von Grenzwerten inklusive Warnung bei deren Überschreitung zu nennen.

#### **Unterstützung von Energiemanagementsystemen**

Zur Unterstützung von Energiemanagementsystemen ist das Energy-Cockpit mit Blick auf die Planungs- und Kontrollfunktionen allen am Markt verfügbaren Softwarelösungen überlegen. Erfahrungen in der Praxis zeigen jedoch, dass den Energiemanagementbeauftragten insbesondere auch an der Hilfestellung in administrativen und organisatorischen Aufgaben gelegen ist.

Hierzu bietet sich eine Vereinigung des Energy-Cockpits mit dem Softwaretool TIEM (Totally Integrated Energy Management) an [191]. Das TIEM wird im gleichnamigen Infrastrukturprojekt im Rahmen des Verbundprojektes Green Factory Bavaria entwickelt und adressiert die Unterstützung von Energiemanagementsystemen. Da beide Softwaretools auf derselben technischen Infrastruktur aufbauen, ist eine Softwareintegration gut möglich.

### **Betrachtung von Energiekosten**

In künftigen Versionen des Energy-Cockpits können auch betriebswirtschaftliche Betrachtungen aufgenommen werden. Insbesondere der Einfluss von Energiepreisen und entsprechend der Energiekosten vor dem Hintergrund des finanziellen Gesamtbildes eines Unternehmens ist interessant. Verschiedene Szenarien sollen mit Blick auf volatile Energiepreise, potenzielle Absatzschwankungen, Investitionen in Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen und Zertifizierungseinsparungen vergleichbar gemacht werden. Die Planung der einzelnen Unternehmensbereiche sowie die Ermittlung betriebswirtschaftlicher Kennzahlen sollen dabei monatlich möglich sein.

## 6 Zusammenfassung

Die Verbesserung der Energieeffizienz in den energieverbrauchenden Sektoren ist notwendig zur Unterstützung der Energiewende, um steigenden Energiekosten zu begegnen und letztlich menschenbedingte Einflüsse auf Klima und Umwelt zu reduzieren. Aufgrund seiner Gewichtung kommt dem Industriesektor dabei eine zentrale Rolle zu. Auch in der Gesellschaft wächst die Sensibilität für nachhaltig und umweltfreundlich hergestellte Produkte. Es ist zu erwarten, dass Unternehmen, deren Produktionsprozesse energieeffizienter sind als die der Konkurrenz, einen vermarktbareren Wettbewerbsvorteil werden verzeichnen können.

Dieser lässt sich jedoch nur bewerben, wenn die ganzheitliche Betrachtung der Energieeffizienz in der Herstellung quantifiziert werden kann. Dem Controllingwesen stellen sich somit neue Aufgabenfelder, für deren Bearbeitung geeignete Instrumente notwendig sind. Gängige Methoden, wie der (klassische) Kumulierte Energieaufwand der Herstellung ( $KEA_H$ ) oder die Ökobilanz, verwenden lediglich vorbestimmte und standardisierte Tabellenwerte zur Betrachtung der Energieverbräuche der Herstellung. Eine Methode zur Berücksichtigung tatsächlich angefallener Energieverbräuche in einer Wertschöpfungskette gibt es bisher nicht.

Um die Energieeffizienz der Produkterzeugung ganzheitlich bewerten zu können, müssen alle beteiligten Unternehmen ihre individuellen Energieverbräuche messen und auf die entsprechenden Produkte allokalieren. So entsteht ein belastbares Abbild über den unternehmensindividuellen Energiebedarf bei der Produkterstellung. In der Konsequenz wird der Faktor Energieverbrauch, ausgehend vom Kunden, beim Einkauf von Produkten, Komponenten und Rohstoffen über alle Unternehmen der Wertschöpfungskette hinweg berücksichtigt. Es entsteht ein übergreifendes Anreizsystem, das zur Verbesserung der Energieeffizienz motiviert.

Zur Unterstützung dieses Vorgehens wird der bereits existierende Kennwert  $KEA_H$  zum Kennwert  $KEA_H^*$  modifiziert. Dieser beinhaltet ebenfalls alle Energieverbräuche, die zur Erstellung eines Produkts angefallen sind, basiert jedoch auf den tatsächlich angefallenen Energieverbräuchen der individuellen Wertschöpfungskette eines Unternehmens. Mit dem darauf aufbauenden  $KEA_H^*$ -Kennwerteschema ist ein Rahmen gegeben, welcher jedwede Energieverbräuche eines Unternehmens kategorisiert. Dabei werden die Energieverbräuche bei der Herstellung von Vorleistungen, Energieverbräuche der Fertigung und alle Gemeinenergieverbräuche unterschieden. Um die  $KEA_H^*$ -Elemente auf die hergestellten Produkte differenziert allokalieren zu können, baut das  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema auf das mehrstufige Zuschlagskalkulationsschema der Kostenrechnung auf. Damit ist eine Methode gegeben, mittels derer insbesondere die Gemeinenergieverbräuche den hergestellten Produkten zugeordnet werden können. Der so ermittelte produktbezogene  $KEA_H^*$ -Wert kann in einen Energie-Controlling-Prozess überführt werden.

Zur Planung künftiger Energieverbräuche im Rahmen des Energie-Controllings können mehrere Verfahren eingesetzt werden. Für Gemeinenergieverbräuche können historische Werte in die Zukunft projiziert werden. Energieverbräuche der Fertigungsanlagen lassen sich durch den Einsatz von Energiebenchmarking, Methods-Energy Measurement, Simulations- oder Berechnungsverfahren planen.

Um die Einhaltung der geplanten Energieverbrauchsziele zu überprüfen, müssen in den Hauptenergieeinsatzbereichen Messgeräte installiert sein. Für das Energie-Controlling soll die Datenerfassung auf Anlagenebene und mit einer Messfrequenz im Minutenbereich erfolgen. So kann ein ausgewogenes Verhältnis aus Datenerhebungsaufwand, Datenvolumen und Aussagefähigkeit erreicht werden. Die Energiedaten werden in ein einheitliches Datenformat transformiert und in einer Datenbank gespeichert, wo sie zu Auswertungszwecken bereit liegen.

Im Kontrollschritt können die geplanten Energiewerte mit den tatsächlich angefallenen Verbräuchen gegenübergestellt werden. Durch diesen Soll-Ist-Vergleich können Abweichungen von den Energiezielen festgestellt werden, um etwaige Steuerungsmaßnahmen einzuleiten. Durch unterjährige Anpassung der Werte anhand der Controllingergebnisse entsteht ein rollierendes Energieforecasting.

Durch die Kommunikationsmöglichkeiten im Rahmen des Energie-Controllings ist es möglich, produktbezogene Energieverbräuche mit Branchenwerten zu vergleichen und bei Kunden damit zu werben.

Anhand des prototypischen Energy-Cockpits ist dargestellt, wie ein Energie-Controlling durch Software unterstützt werden kann. Der Softwaretest anhand zweier Unternehmensbeispiele zeigt, dass das Energy-Cockpit von der Unternehmenssicht bis zur Betrachtung einer einzelnen Montagestation den sich aus dem Energie-Controlling ergebenden Anforderungen genügt, wobei gerade mit Blick auf Energiemanagementsysteme noch Entwicklungspotenzial besteht.

Aufbauend auf dem Kennwert  $KEA_H^*$  ist mit dem Energie-Controlling erstmalig eine ganzheitliche Methodik gegeben, mithilfe deren unternehmensübergreifend und entlang einer ganzen Wertschöpfungskette Transparenz über die Energieverbräuche geschaffen werden kann. Diese Transparenz führt zur Identifikation von Einsparpotenzialen und schafft gleichzeitig Anreize, diese zu heben. Somit wird ein entscheidender Beitrag geleistet, die Energieverbräuche produzierender Unternehmen zu reduzieren. Somit kann die Forschungsaufgabe als gelöst betrachtet werden.

Folgearbeiten können auf der Energie-Controlling-Methodik aufbauen, indem das  $KEA_H^*$ -Zuschlagskalkulationsschema um Elemente einer Prozessenergierechnung erweitert wird. Die Verteilung von Gemeinenergieverbräuchen kann so weiter verbessert werden, um die energetische Bewertung von Produkten noch verursachungsgenauer zu gestalten.

## 7 Summary

Improvements to energy efficiency in the energy consuming sectors are necessary in order to further facilitate the energy turnaround, to face rising energy costs and to reduce man-made effects on the climate and environment. The industry has come to play a central role in energy efficiency due to the severity of this issue. In addition, awareness of producing sustainable and environmentally friendly produced goods has increased in society. It is to be expected that companies whose production processes are more energy efficient than those of their competitors can achieve marketably competitive advantages.

However, this can be only promoted so long as energy efficiency in production can be quantitatively and holistically examined. Consequently, controlling entities receive more areas of responsibilities, which leads to a need for suitable instruments. Current methods, such as cumulated energy demand (CED) or life cycle assessment (LCA), merely use predetermined data for considering the rate of energy consumption in production processes. However, a method for considering the actual amount of energy consumption in a value chain does not exist.

In order to assess a production's energy efficiency holistically, all companies involved must measure their individual rates of energy consumption and allocate them to the respective products. In that way, a reliable reflection of a company's individual energy demands emerges. The factor of energy consumption itself is considered amongst purchasing products, modules and raw materials, in the whole value chain and starting with the customer. Ultimately, a comprehensive incentive system emerges, which leads to the improvement of energy efficiency.

To facilitate this procedure, the performance indicator CED has been modified to the CED\*. The CED\* includes all areas of energy consumption that have accumulated during the production of a product – including the energy consumption for the production of purchased parts and for transportation – in the actual supply chain, not only predetermined data. The CED\* characteristics scheme provides a framework that categorizes all types of energy consumption in a company. The various forms of energy consumption are differentiated between purchased parts, forms of energy consumption occurring during production, and any overhead energy consumption. In order to allocate the produced products, the CED\* allocation scheme builds on the prevalent multi-stage overhead calculation scheme used in accounting. Thus, a methodology with which, in particular, overhead energy consumption can be allocated in a unified way can be provided. The product-related CED\* value can be transferred into an energy-controlling process, consisting of energy-planning, energy-analyzing and energy-checking.

Several techniques can be used for the pre-calculation of future energy demands within the scope of energy-controlling. For overhead energy consumption historical

values can be projected to the future. The planned output volumes in combination with historical average consumption data further includes expected business developments. For planning the energy consumption of manufacturing plants, energy benchmarking values, simulation- or calculation-methods can be applied.

Permanently installed metering equipment can be implemented in the primary energy consuming fields in order to ensure adherence to the planned energy targets. Acquiring data for energy-controlling should happen at the machine level and at a frequency in the range of minutes. In doing so, a balanced ratio between data acquisition complexity, data volume and data significance can be achieved. The energy data are changed into a unified data format and are stored in a database, where they are saved for further analysis purposes.

In the final controlling step, pre-calculated energy values can be compared to the actual accrued rates of consumption. With this variance analysis, deviations from the energy goals can be ascertained so that potential actions can be initiated. In-year adjustments to the energy prediction lead to rolling energy forecasting.

Stakeholders are most likely to profit from this form of energy reporting. Energy controlling particularly makes comparing product-related energy consumption and branch values for advertising purposes possible.

Based on the Energy-Cockpit prototype, an approach to energy-controlling with the aid of software is shown. Testing this approach through the examination of two companies shows that the Energy-Cockpit prototype fulfills the energy-controlling requirements from a company's perspective down to a single assembly station. Regarding the needs of energy management systems, there is further development potential however.

A comprehensive toolset that enables transparency in all forms of energy consumption, both across companies and within a complete value chain, has thus been provided for the first time. This toolset is built upon the specific value CED\*, the energy-controlling methodology, and the supporting software tool Energy-Cockpit. The aforementioned transparency leads to the identification of energy-saving opportunities and creates incentives to simultaneously increase said opportunities. Consequently, this work represents a valuable contribution to reducing energy consumption in industrial production. Overall, the research task can be regarded as fulfilled.

Future work can build upon the energy-controlling methodology by expanding the CED\* calculation scheme with elements of an activity-based energy calculation scheme. Consequently, the allocation of overhead consumption can be even more precise, so that the energetic evaluation of products is also even more source-specific.

## 8 Abkürzungsverzeichnis

AJAX.....	Asynchronous JavaScript and XML
BAFA .....	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW .....	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BI .....	Business Intelligence
BSC .....	Balanced Scorecard
BUIS .....	Betriebliches Umweltinformationssystem
BV.....	Bestandsveränderungen
CAD.....	Computer-Aided Design
CAE .....	Computer-Aided Engineering
CAM.....	Computer-Aided Manufacturing
CAP .....	Computer-Aided Process Planning
CAQ.....	Computer-Aided Quality
CNC.....	Computerized Numerical Control
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid
CSR.....	Corporate Social Responsibility
CSS .....	Cascading Style Sheets
CSV .....	Comma-separated values
DAX .....	Deutscher Aktienindex
DIN .....	Deutsches Institut für Normung
DNC.....	Direct Numerical Control
EDL-G.....	Energiedienstleistungsgesetz
EDMS .....	Energiedatenmanagement-System
EDV .....	Elektronische Datenverarbeitung
EEG .....	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV .....	Energy Efficiency Value
EEX .....	European Energy Exchange
EMAS .....	Eco-Management and Audit Scheme
EN.....	Europäische Norm
EnMB.....	Energiemanagement-Beauftragter
EnMS.....	Energiemanagementsystem
EPE .....	Energy Process Efficiency
EPM.....	Energetic Physical Minimum
ERM.....	Energetic Real Minimum

ERP .....	Enterprise-Resource-Planning
ETL .....	Extract – Transform – Load
ETM .....	Energetic Technological Minimum
EU .....	Europäische Union
F&E .....	Forschung und Entwicklung
FEK .....	Fertigungseinzelkosten
FEV .....	Einzelenergieverbräuche der Fertigung
FGK .....	Fertigungsgemeinkosten
FGV .....	Gemeinenergieverbräuche der Fertigung
GJ .....	Geschäftsjahr
FK .....	Fertigungskosten
GRI .....	Global Reporting Initiative
GUI .....	Graphical User Interface
GV .....	Gemeinenergieverbräuche des Unternehmens
HK .....	Herstellkosten
HK <sub>P</sub> .....	Herstellkosten der Produktion
HK <sub>U</sub> .....	Herstellkosten des Umsatzes
HTML .....	Hypertext Markup Language
ICV .....	Internationaler Controller Verein
IGC .....	International Group of Controlling
IKT .....	Informations- und Kommunikationstechnik
ISO .....	International Organization for Standardization
IT .....	Informationstechnik
JS .....	JavaScript
KEA .....	Kumulierter Energieaufwand
KEA <sub>H</sub> .....	Kumulierter Energieaufwand der Herstellung
KMU .....	Kleine und mittlere Unternehmen
KVP .....	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
kW .....	Kilowatt
kWh .....	Kilowattstunde
LCA .....	Life Cycle Assessment
LCC .....	Life Cycle Costing
LCD .....	Life Cycle Design
LCE .....	Life Cycle Engineering
LVP .....	Listenverkaufspreis



MDAX .....	Mid-Cap-DAX
MEK.....	Materialeinzelkosten
MEM .....	Methods-Energy Measurement
MES.....	Manufacturing Execution System
MEV .....	Einzelenergieverbräuche des Materials
MGK .....	Materialgemeinkosten
MGV .....	Gemeinenergieverbräuche des Materials
MK .....	Materialkosten
MRF.....	Materialrückföhrbänder
MTM .....	Methods-Time Measurement
MWh.....	Megawattstunde
NGO .....	Non-governmental organization (Nichtregierungsorganisation)
OEM .....	Original Equipment Manufacturer
OHSAS.....	Occupational Health and Safety Assessment Series
OLAP .....	Online Analytical Processing
OPC-UA.....	Open Platform Communications – Unified Architecture
PCF .....	Product Carbon Footprint
PEV .....	Prozessenergieverbräuche
PFK.....	Prozessorientierte Fließsystemkostenrechnung
PHP .....	Personal Home Page Hypertext Preprocessor
PK.....	Prozesskosten
PKR .....	Prozesskostenrechnung
PPS .....	Produktionsplanung und -steuerung
R.....	Rabatt
REV .....	Restenergieverbräuche
RGK.....	Restgemeinkosten
SBS/ SBSC.....	Sustainable Balanced Scorecard
SCADA .....	Supervisory Control and Data Acquisition
SDAX.....	Small-Cap-DAX
SeFK.....	Sondereinzelkosten der Fertigung
SeKV .....	Sondereinzelkosten des Vertriebs
SeMK.....	Sondereinzelkosten des Materials
SK.....	Selbstkosten
Sk .....	Skonto
SpaEfV .....	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung

SPEM .....	System of Predetermined Energetic Minimums
SPS .....	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL .....	Structured Query Language
StromStG .....	Stromsteuergesetz
TCO .....	Total Cost of Ownership
TEHG.....	Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
THG .....	Treibhausgas
TIEM .....	Totally Integrated Energy Management
TMU .....	Time Measurement Unit
UPN .....	Umwandlungsanlagen, Produktionsanlagen, Nebenanlagen
VDI.....	Verein Deutscher Ingenieure
VtGK .....	Vertriebsgemeinkosten
Vtp .....	Vertriebsprovision
VVGK.....	Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten
VwGK .....	Verwaltungsgemeinkosten
XLS.....	Dateiendung für Dateien von Microsoft Excel
XML .....	Extensible Markup Language
YTD .....	Year-to-date
ZVP.....	Zielverkaufspreis

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V (BDEW): *Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträger in den Jahren 2000 bis 2014*. Berlin, 2015
- [2] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V (BDEW): *Verteilung des Stromverbrauchs in Deutschland nach Verbrauchergruppen im Jahr 2014*. Berlin, 2015
- [3] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V (BDEW): *Zusammensetzung des Strompreises für die Industrie in Deutschland in den Jahren 1998 bis 2013*. Berlin, 2015
- [4] RACKOW, T.; JAVIED, T.; SCHIEßL, S.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Energiekosten und Energiemanagement: Studie über den Umgang mit Energie in produzierenden Unternehmen*. In: *Industrie Management* 31 (2015), Nr. 3, S. 49–52
- [5] HÜWELS, H.; BOLAY, S.; FLECHTNER, J.; GRAJETZKY, C.; LIECKE, M.; NOKE, E.: *IHK-Energiewende Barometer: Unternehmen packen's an – Skepsis bleibt*. Deutscher Industrie- und Handelskammertag. Berlin, 2013
- [6] STRAEHLE, O.; PETRICK, K.; STIERLI, F.; BRON, A.: *Hidden treasure: Why energy efficiency deserves a second look*. Bain & Company. München, Zürich, 2013
- [7] OTTO GMBH & CO KG (Hg.): *Konsumethik zwischen persönlichem Vorteil und sozialer Verantwortung: Otto Group Trendstudie 2013, 4. Studie zum ethischen Konsum*. 2013
- [8] SCHALTEGGER, S.; HÖRISCH, J.; WINDOLPH, S. E.; HARMS, D.: *Corporate Sustainability Barometer 2012: Praxisstand und Fortschritt des Nachhaltigkeitsmanagements in den größten Unternehmen Deutschlands*. Lüneburg: CSM, Centre for Sustainability Management, 2012
- [9] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V.: *Kumulierter Energieaufwand (KEA): Begriffe, Berechnungsmethoden (VDI 4600)*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2012
- [10] SCHMIDT, M.: *Carbon Accounting zwischen Modeerscheinung und ökologischem Verbesserungsprozess*. In: *Zeitschrift für Controlling & Management ZfCM* 54 (2010), Nr. 1, S. 32–37
- [11] SCHMIDT, M.: *Carbon accounting and carbon footprint – more than just diced results?* In: *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 1 (2009), Nr. 1, S. 19–30
- [12] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Umweltmanagement – Ökobilanz: Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006)*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2001

- [13] INTERNATIONALER CONTROLLER VEREIN (ICV): *Green Controlling: Relevanz und Ansätze einer „Begründung“ des Controlling Systems*. Ohne Ortsangabe, 2011
- [14] STEINKE, K.-H.: *Green Controlling: Leitfaden für die erfolgreiche Integration ökologischer Zielsetzungen in Unternehmensplanung und -steuerung*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014
- [15] GLEICH, R. (Hrsg.): *Energiecontrolling*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014
- [16] WATERMAN, R. H.; PETERS, T. J.; PHILLIPS, J. R.: *Structure is not organization*. In: *Business Horizons* 23 (1980), Nr. 3, S. 14–26
- [17] PREIBLER, P. R.: *Controlling*. Oldenbourg: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2014
- [18] SCHWEITZER, M.; FRIEDL, B.: *Beitrag zu einer umfassenden Controlling-Konzeption*. In: SPREMANN, K.; ZUR, E.; AEGERHARD, K. (Hrsg.): *Controlling: Grundlagen – Informationssysteme – Anwendungen*. Wiesbaden: Gabler, 1992, S. 141–167
- [19] DEIMEL, K.; HEUPEL, T.; WILTINGER, K.: *Controlling*. München: Vahlen, 2010
- [20] INTERNATIONAL GROUP OF CONTROLLING (IGC): *Controller-Leitbild*. Bukarest, 2013
- [21] SCHÄFFER, U.; WEBER, J.: *Rationalitätssicherung der Führung: Beiträge zu einer Theorie des Controlling*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2001
- [22] REICHMANN, T.: *Controlling mit Kennzahlen: Die systemgestützte Controlling-Konzeption mit Analyse- und Reportinginstrumenten*. München: Vahlen, 2011
- [23] HORVÁTH, P.: *Controlling*. München: Vahlen, 2011
- [24] BRITZELMAIER, B.: *Controlling: Grundlagen, Praxis, Handlungsfehler*. München, Harlow: Pearson, 2013
- [25] WEBER, J.; ZUBLER, S.; REHRING, J.: *Das 3. WHU-Controllerpanel 2009: Aktuelle Entwicklungen und Trends im Zeichen der Krise*. Vallendar: WHU, Otto Beisheim School of Management, 2009
- [26] BAUM, H.-G.; COENENBERG, A. G.; GÜNTHER, T.: *Strategisches Controlling*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2013
- [27] JOOS-SACHSE, T.: *Controlling, Kostenrechnung und Kostenmanagement: Grundlagen – Anwendungen – Instrumente*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014
- [28] WEBER, J.; SPILLECKE, D.: *Produktionscontrolling*. In: SCHÄFFER, U.; WEBER, J. (Hrsg.): *Bereichscontrolling: Funktionsspezifische Anwendungsfelder, Methoden und Instrumente*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2005, S. 91–110

- [29] CORSTEN, H.; FRIEDL, B.: *Konzeption und Ausgestaltung des Produktionscontrolling*. In: CORSTEN, H. (Hrsg.): *Einführung in das Produktionscontrolling*. München: Vahlen, 1999, S. 1–64
- [30] WEBER, J.: *Logistik- und Supply-Chain-Controlling*. In: SCHÄFFER, U.; WEBER, J. (Hrsg.): *Bereichscontrolling: Funktionsspezifische Anwendungsfelder, Methoden und Instrumente*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2005, S. 191–232
- [31] BASSEN, A.; BRAUN, S.: *Finanzcontrolling*. In: SCHÄFFER, U.; WEBER, J. (Hrsg.): *Bereichscontrolling: Funktionsspezifische Anwendungsfelder, Methoden und Instrumente*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2005, S. 279–324
- [32] HORVÁTH, P.: *Das Controllingkonzept: Der Weg zu einem wirkungsvollen Controllingsystem*. München: Deutscher Taschenbuchverlag, 2006
- [33] BECKER, W.; BALTZER, B.; ULRICH, P.: *Wertschöpfungsorientiertes Controlling: Konzeption und Umsetzung*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag, 2014
- [34] KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.; HORVÁTH, P.; KAPLAN-NORTON: *Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1997
- [35] GLADEN, W.: *Performance Measurement: Controlling mit Kennzahlen*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011
- [36] KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.: *The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance*. In: *Harvard Business Review* 70 (1992), Nr. 1, S. 71–79
- [37] COLSMAN, B.: *Nachhaltigkeitscontrolling: Strategien, Ziele, Umsetzung*. Wiesbaden: Springer, 2013
- [38] WEBER, J.; GORETZKI, L.; MEYER, T.: *Nachhaltigkeit als neues Aufgabenfeld für Controller – Ergebnisse der WHU-Zukunftsstudie*. In: *Zeitschrift für Controlling & Management ZfCM* 56 (2012), Nr. 4, S. 242–248
- [39] WEBER, J.; GEORG, J.; JANKE, R.: *Nachhaltigkeit: Relevant für das Controlling?* In: *Zeitschrift für Controlling & Management ZfCM* 54 (2010), Nr. 6, S. 395–400
- [40] BEHMEL, U.; BARFUß, G. S.: *Klima-Reporting: Mit dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Verbesserungspotenzial erkennen*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Energiecontrolling*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014, S. 87–104
- [41] BANSAL, P.; ROTH, K.: *Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness*. In: *The Academy of Management Journal* 43 (2000), Nr. 4, S. 717–736
- [42] WEBER, J.; GEORG, J.; JANKE, R.; MACK, S.: *Nachhaltigkeit und Controlling*. Weinheim: Wiley-VCH, 2011 (Advanced controlling Bd. 80)

- [43] KLOOCK, J.: *Umweltkostenrechnung*. In: SCHEER, A.-W. (Hrsg.): *Rechnungswesen und EDV: 11. Saarbrücker Arbeitstagung 1990: Wandel der Kalkulationsobjekte*. Heidelberg: Physica, 1990, S. 126–156
- [44] SCHULZ, W.: *Sozialkostenmessung im Umweltbereich – Theoretische und methodische Überlegungen*. In: BECKENBACH, F.; HAMPICKE, U.; SCHULZ, W. (Hrsg.): *Möglichkeiten und Grenzen der Monetarisierung von Natur und Umwelt*. Berlin: Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung, 1989 (Schriftenreihe des IÖW, 20), S. 43–63
- [45] SCHREINER, M.: *Umweltmanagement in 22 Lektionen: Ein ökonomischer Weg in eine ökologische Wirtschaft*. Wiesbaden: Gabler, 1996
- [46] ABLÄNDER, M. S.; ZIMMERLI, W. C.: *Wirtschaftsethik*. In: NIDA-RÜMELIN, J. (Hrsg.): *Angewandte Ethik: Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung: Ein Handbuch*. Stuttgart: A. Kröner Verlag, 1996, S. 290–345
- [47] HABISCH, A.; WEGNER, M.; SCHMIDPETER, R.: *Gesetze und Anreizstrukturen für CSR in Deutschland. Praxisexpertise erstellt im Auftrag der Bertelsmann Stiftung*. Center for Corporate Citizenship, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt. Eichstätt, 2004
- [48] JONKER, J.; STARK, W.; TEWES, S.: *Corporate Social Responsibility und nachhaltige Entwicklung: Einführung, Strategie und Glossar*. Berlin: Springer, 2011
- [49] BECKMANN, M.; HIELSCHER, S.; PIES, I.: *Commitment Strategies for Sustainability: How Business Firms Can Transform Trade-Offs Into Win-Win Outcomes*. In: *Business Strategy and the Environment* 23 (2014), Nr. 1, S. 18–37
- [50] ELKINGTON, J.: *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Oxford: Capstone, 1999
- [51] SCHALTEGGER, S.; HASENMÜLLER, P.: *Nachhaltiges Wirtschaften aus Sicht des „business case of sustainability“*. Lüneburg: CSM, Centre for Sustainability Management, 2005
- [52] PEDELL, B.; STEHLE, A.: *Green Controlling*. In: SCHÄFER, H. (Hrsg.): *Handbuch Nachhaltigkeit*. Stuttgart: Dt. Sparkassen-Verlag, 2013, S. 327–342
- [53] INTERNATIONALER CONTROLLER VEREIN (ICV): *Green Controlling: Relevanz und Herausforderung der Integration ökologischer Aspekte in das Controlling aus Sicht der Controllingpraxis*. Gauting, Stuttgart, 2011
- [54] WALTENBERGER, G.: *Energiemanagement in der Industrie: Die energiewirtschaftlichen Grundlagen*. Lohmar, Köln: Eul Verlag, 2005

- [55] SCHULZE, M.; GLEICH, R.: *Energiecontrolling: Grundlagen, Aufgaben, Instrumente und Organisation*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Energiecontrolling*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014, S. 27–42
- [56] RACKOW, T.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Green Controlling: Ressourcenorientierte Steuerung von Unternehmen*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (2013), Nr. 10, S. 773–777
- [57] ARNOLD, W.; FREIMANN, J.; KURZ, R.: *Sustainable Balanced Scorecard (SBS): Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in das BSC-Konzept: Konzept - Erfahrungen - Perspektiven*. In: *Zeitschrift für Controlling & Management ZfCM* 47 (2003), Nr. 6, S. 391–400
- [58] HAHN, T.; WAGNER, M.: *Sustainability balanced scorecard: Von der Theorie zur Umsetzung*. Lüneburg: CSM, Centre for Sustainability Management, 2001
- [59] SCHULZE, M.; NUHN, H.; GLEICH, R.: *Sustainable Performance Measurement – Strategische Unternehmenssteuerung im Kontext von Nachhaltigkeit*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Nachhaltigkeitscontrolling: Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2012, S. 91–112
- [60] BAIER, P.: *Praxishandbuch Controlling: Controllinginstrumente, Unternehmensplanung und Reporting*. München: Mi-Fachverlag, FinanzBuch Verlag, 2008
- [61] EWERT, R.; WAGENHOFER, A.: *Interne Unternehmensrechnung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014
- [62] PREIBLER, P. R.; PREIBLER, G. J.: *Entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung*. Berlin: de Gruyter Oldenbourg, 2015
- [63] HORSCH, J.: *Kostenrechnung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015
- [64] COENENBERG, A. G.; FISCHER, T. M.; GÜNTHER, T.: *Kostenrechnung und Kostenanalyse*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2012
- [65] SCHWEITZER, M.; KÜPPER, H.-U.: *Systeme der Kosten- und Erlösrechnung*. München: Vahlen, 2011
- [66] HORVÁTH, P.; MAYER, R.: *Prozesskostenrechnung: Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien*. In: *Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung* (1989), Nr. 4, S. 214–219
- [67] COOPER, R.; KAPLAN, R. S.: *Measure Costs Right: Make the Right Decisions*. In: *Harvard Business Review* 66 (1988), Nr. 5, S. 96–103

- [68] SCHREINER, M.: *Auswirkungen einer umweltorientierten Unternehmensführung auf die Kosten- und Leistungsrechnung*. In: MÄNNEL, W. (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden: Gabler, 1992, S. 941–952
- [69] MÜLLER, A.: *Umweltorientiertes betriebliches Rechnungswesen*. München: Oldenbourg, 2010
- [70] TSCHANDL, M.: *Perspektiven der Integration im Umweltcontrolling*. In: TSCHANDL, M.; POSCH, A. (Hrsg.): *Integriertes Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011, S. 12–39
- [71] MÜLLER, A.: *Ansätze und Instrumente des Nachhaltigkeitscontrollings – ein praxisorientierter Überblick*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Nachhaltigkeitscontrolling: Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2012, S. 67–90
- [72] POSCH, A.; KLINGSPIEGL, M.: *Stoff- und Energiebilanzierung in der industriellen Produktion*. In: TSCHANDL, M.; POSCH, A. (Hrsg.): *Integriertes Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011, S. 53–68
- [73] KLOEPFFER, W.: *Life cycle sustainability assessment of products*. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (2008), Nr. 2, S. 89–95
- [74] KLÖPFFER, W.; GRAHL, B.: *Ökobilanz (LCA)*. Weinheim: Wiley-VCH, 2009
- [75] MÜLLER, A.: *Nachhaltigkeits-Controlling*. Berlin: Uni-Edition, 2011
- [76] SCHMIDT, M.; KEIL, R.: *Stoffstromnetze und ihre Nutzung für mehr Kostentransparenz sowie die Analyse der Umweltwirkung betrieblicher Stoffströme*. In: *Beiträge der Hochschule Pforzheim* (2002), Nr. 103
- [77] SCHMIDT, M. (Hrsg.): *Stoffstrombasierte Optimierung: Wissenschaftliche und methodische Grundlagen sowie softwaretechnische Umsetzung*. Münster: Verl.-Haus Monsenstein und Vannerdat, 2009
- [78] GÜNTHER, E.: *Ökologieorientiertes Management: Um-(weltorientiert) Denken in der BWL*. Stuttgart: Lucius und Lucius, 2008
- [79] LOEW, T.; JÜRGENS, G.: *Flusskostenrechnung versus Umweltkennzahlen*. In: *Ökologisches Wirtschaften* (1999), 5-6, S. 27–29
- [80] HERBST, S.: *Umweltorientiertes Kostenmanagement durch Target Costing und Prozesskostenrechnung in der Automobilindustrie*. Lohmar: Eul Verlag, 2001
- [81] BIERER, A.; GÖTZE, U.: *Target costing for energy- and cost-oriented product development*. In: NEUGEBAUER, R.; GÖTZE, U.; DROSSEL, W.-G. (Hrsg.): *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD*. Auerbach: Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2013, S. 435–450



- [82] BIERER, A.; GÖTZE, U.: *Energiekosten als Betrachtungsobjekt der Kostenrechnung – eine Bestandsaufnahme*. In: NEUGEBAUER, R.; GÖTZE, U.; DROSSEL, W.-G. (Hrsg.): *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD*. Auerbach: Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2013, S. 95–114
- [83] MAUCH, W.: *Kumulierter Energieaufwand für Güter und Dienstleistungen: Basis für Ökobilanzen*. Gräfelfing: Techn. Verl. Resch, 1993 (IfE-Schriftenreihe)
- [84] EITELWEIN, O.; GORETZKI, L.: *Carbon Controlling und Accounting erfolgreich implementieren – Status Quo und Ausblick*. In: *Zeitschrift für Controlling & Management ZfCM* 54 (2010), Nr. 1, S. 23–30
- [85] BSI BRITISH STANDARDS INSTITUTION: *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services (PAS 2050:2011)*, 2011
- [86] WORLD RESOURCES INSTITUTE: *Greenhouse Gas Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard: Corporate Value Chain (Scope 3)*. Washington, Genf, 2011
- [87] ALTING, L.; LEGART, B.: *Life Cycle Engineering and Design*. In: *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 44 (1995), Nr. 2, S. 569–580
- [88] WANYAMA, W.; ERTAS, A.; ZHANG, H.-C.; EKWARO-OSIRE, S.: *Life-cycle engineering: Issues, tools and research*. In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 16 (2003), 4-5, S. 307–316
- [89] SHERIF, Y. S.; KOLARIK, W. J.: *Life cycle costing: Concept and practice*. In: *Omega* 9 (1981), Nr. 3, S. 287–296
- [90] WOODWARD, D. G.: *Life cycle costing – Theory, information acquisition and application*. In: *International Journal of Project Management* 15 (1997), Nr. 6, S. 335–344
- [91] SCHABBACH, T.; WESSELAK, V.: *Energie – Die Zukunft wird erneuerbar*. Berlin: Springer Vieweg, 2012
- [92] KOUBEK, A.; PÖLZ, W.: *Integrierte Managementsysteme: Von komplexen Anforderungen zu zielgerichteten Lösungen*. München: Hanser, 2014
- [93] GESCHÄFTSSTELLE DES UMWELTGUTACHTERAUSSCHUSSES: *Informationen über das europäische Umweltmanagementsystem*. Berlin, 2011
- [94] RACKOW, T.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Effizientes Energie-Controlling*. In: *Controlling und Management Review (CMR)* 59 (2015), Nr. 4, S. 60–67

- [95] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Energiemanagementsysteme: Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011)*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2011
- [96] JAVIED, T.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Implementing Energy Management System to Increase Energy Efficiency in Manufacturing Companies*. In: *Procedia CIRP* 26 (2015), S. 156–161
- [97] KAHLENBORN, W.; KABISCH, S.; KLEIN, J.; RICHTER, I.; SCHÜRMANN, S.: *Energiemanagementsysteme in der Praxis: ISO 50001 – Leitfaden für Unternehmen und Organisationen*. Berlin: Bundestministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2012
- [98] VOLZ, T.: *Integration systematischer Analyse und Prognose in die ganzheitliche Bilanzierung: Instrumentarium zur rechnergestützten Modellierung*. Aachen: Shaker, 1999
- [99] SCHALTEGGER, S.: *Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: Konzepte und Instrumente zur nachhaltigen Unternehmensentwicklung*. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [u.a.], 2002
- [100] BAUMGARTNER, R. J.: *Nachhaltigkeitsorientierte Unternehmensführung: Modell, Strategien und Managementinstrumente*. München, Mering: Hampp, 2010
- [101] ISENMANN, R.; RAUTENSTRAUCH, C.: *Horizontale und vertikale Integration Betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIs) in Betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien*. In: *UmweltWirtschaftsForum uwf* 15 (2007), Nr. 2, S. 75–81
- [102] KAPPLER, C.: *Energie und Kosten sparen mit einem IT-basierten Energiecontrollingsystem*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Energiecontrolling*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014, S. 225–242
- [103] ROUTSCHKA, D.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Technologie- und Marktanalyse im Bereich Energiedatenmanagementsysteme: Projektarbeit im Fach Wirtschaftsingenieurwesen*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2013
- [104] BUNDESAMT FÜR WIRTSCHAFT UND AUSFUHRKONTROLLE (BAFA): *Energiemanagementsysteme: Liste förderfähiger Energiemanagementsoftware*. Eschborn, 2015
- [105] MÜLLER, E.; ENGELMANN, J.; LÖFFLER, T.; JÖRG, S.: *Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013
- [106] BORNSCHLEGL, M.; SPRENG, S.; KREITLEIN, S.; BREGULLA, M.; FRANKE, J.: *Determination of the Prospective Energy Consumption of Manufacturing Technologies with Methods-Energy Measurement (MEM)*. In: *2014 4th Inter-*

- national Electric Drives Production Conference (EDPC 2014)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2014, S. 404–410
- [107] BORNSCHLEGL, M.; KREITLEIN, S.; BREGULLA, M.; FRANKE, J.: *A Method for Forecasting the Running Costs of Manufacturing Technologies in Automotive Production during the Early Planning Phase*. In: *Procedia CIRP* 26 (2015), S. 412–417
- [108] BORNSCHLEGL, M.; PARYANTO; SPAHR, M.; KREITLEIN, S.; BREGULLA, M.; FRANKE, J.: *Energy Planning of Manufacturing Systems with Methods-Energy Measurement (MEM) and Multi-Domain Simulation Approach*. In: *Applied Mechanics and Materials (AMM)* 655 (2014), S. 53–59
- [109] SPRENG, S.; KOHL, J.; FRANKE, J.: *Automatisierte Erweiterung bestehender Materialflusssimulationen durch Energieaspekte*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (2013), Nr. 9, S. 647–651
- [110] KOHL, J.; SPRENG, S.; HOFMANN, B.; FRANKE, J.: *Minimization of energy needs in the industry of electric drives manufacturing considering process-related temperature curves*. In: *2014 4th International Electric Drives Production Conference (EDPC 2014)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2014, S. 425–429
- [111] KOHL, J.; SPRENG, S.; FRANKE, J.: *Discrete Event Simulation of Individual Energy Consumption for Product-Varieties*. In: *Procedia CIRP* 17 (2014), S. 517–522
- [112] PARYANTO; BROSSOG, M.; KOHL, J.; MERHOF, J.; SPRENG, S.; FRANKE, J.: *Energy Consumption and Dynamic Behavior Analysis of a Six-axis Industrial Robot in an Assembly System*. In: *Procedia CIRP* 23 (2014), S. 131–136
- [113] PARYANTO; BROSSOG, M.; BORNSCHLEGL, M.; FRANKE, J.: *Reducing the energy consumption of industrial robots in manufacturing systems*. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 78 (2015), 5-8, S. 1315–1328
- [114] HESSELBACH, J.: *Daten weiterverarbeiten und nutzen*. In: HESSELBACH, J. (Hrsg.): *Energie- und klimateffiziente Produktion*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012, S. 95–137
- [115] RAGER, M.: *Energieorientierte Produktionsplanung: Analyse, Konzeption und Umsetzung*. Wiesbaden: Gabler, 2008
- [116] BONNESCHKY, A.: *Tools zur Wirtschaftlichkeit im industriellen Energiemanagement*. In: SCHIEFERDECKER, B.; FUENFGELD, C.; BONNESCHKY, A. (Hrsg.): *Energiemanagement-Tools: Anwendung im Industrieunternehmen*. Berlin: Springer, 2006, S. 99–287

- [117] JUNGE, M.: *Simulationsgestützte Entwicklung und Optimierung einer energieeffizienten Produktionssteuerung*. Kassel: Kassel Univ. Press, 2007
- [118] THIEDE, S.; SEOW, Y.; ANDERSSON, J.; JOHANSSON, B.: *Environmental aspects in manufacturing system modelling and simulation – State of the art and research perspectives*. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 6 (2013), Nr. 1, S. 78–87
- [119] THIEDE, S.: *Energy Efficiency in Manufacturing Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012
- [120] WILLEKE, S.; WESEBAUM, S.; ULLMAN, G.; NYHUIS, P.: *Energiekosteneffiziente Fertigungssteuerung*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 109 (2014), Nr. 5, S. 328–331
- [121] KONSTANTIN, P.: *Praxisbuch Energiewirtschaft: Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009
- [122] REINHART, G.; SCHULTZ, C.: *Herausforderungen einer energieorientierten Produktionssteuerung*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 109 (2014), 1-2, S. 29–33
- [123] KABELITZ, S.; STRECKFUß, U.: *Energieflexibilität in der Produktionstheorie: Ein analytischer Identifikationsansatz*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 109 (2014), 1-2, S. 639–642
- [124] ZÄH, M. F.; FISCHBACH, C. W.; KUNKEL, F.: *Energieflexibilität in der Produktion identifizieren: Maßnahmen zur Nutzung und Beurteilungsgrößen*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (2013), Nr. 9, S. 639–642
- [125] REINHART, G.; REINHARDT, S.; GRAßL, M.: *Energieflexible Produktionssysteme: Einführungen zur Bewertung der Energieeffizienz von Produktionssystemen*. In: *wt Werkstattstechnik online* 102 (2012), Nr. 9, S. 622–628
- [126] POPP, R.; KELLER, F.; ATABAY, D.; DORNMAIR, R.; BUDERUS, J.; KOHL, J.: *Technische Innovationen für die Energieflexible Fabrik*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (2013), 7-8, S. 556–560
- [127] RACKOW, T.; KOHL, J.; CANZANIELLO, A.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Energy Flexible Production: Saving Electricity Expenditures by Adjusting the Production Plan*. In: *Procedia CIRP* 26 (2015), S. 235–240
- [128] GRAßL, M.: *FOREnergy – Herausforderungen und Lösungskonzepte der energieflexiblen Fabrik: Energiekonzepte und Dienstleistungen im Energienetz*. EW Medien und Kongresse GmbH, Praxistreff „Marktplatz für Energiekonzepte“. Augsburg, 2013
- [129] STEVEN, M.: *Handbuch Produktion: Theorie – Management – Logistik – Controlling*. Stuttgart: Kohlhammer, 2007

- [130] GLEICH, R. (Hrsg.): *Nachhaltigkeitscontrolling: Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2012
- [131] SANDER, H.-P.; DUTZ, A.: *Software-Unterstützung eines „Green-Controlling“ – Einschätzung deutscher Software-Anbieter*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Nachhaltigkeitscontrolling: Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2012, S. 285–294
- [132] KHALAF, S.: *Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Erstellung energieeffizienter Fertigungsstrategien für verkettete Fertigungssysteme*. Aachen: Shaker, 2012
- [133] ÁLVAREZ, I.: *Branchenorientierte und IT-gestützte Energieeffizienz und Benchmarking in KMU-Netzwerken*. In: MARX GÓMEZ, J.; LANG, C.; WOHLGEMUTH, V. (Hrsg.): *IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 21–33
- [134] SANGMEISTER, J.: *Managementinstrumente im Energiemanagement als Teil einer Softwarelösung*. In: MARX GÓMEZ, J.; LANG, C.; WOHLGEMUTH, V. (Hrsg.): *IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 115–128
- [135] NIGGEMANN, S.: *Nachhaltigkeit durch Energiecontrolling*. In: FÄHNRIK, K.-P.; FRANCYK, B. (Hrsg.): *Informatik 2010: Service Science – Neue Perspektiven für die Informatik*. Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2010, S. 649–659
- [136] RACKOW, T.; DONHAUSER, T.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Integrated Energy-Controlling in Industrial Value Chains*. In: *Applied Mechanics and Materials (AMM)* 805 (2015), S. 86–93
- [137] BAUERNHANSL, T.; MANDEL, J.; WAHREN, S.; KASPROWICZ, R.; MIEHE, R.: *Energieeffizienz in Deutschland: Ausgewählte Ergebnisse einer Analyse von mehr als 250 Veröffentlichungen*. Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP), Universität Stuttgart. Stuttgart, 2013
- [138] LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D.: *Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities*. In: *The International Journal of Logistics Management* 9 (1998), Nr. 2, S. 1–20
- [139] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportleistungen (Güter- und Personenverkehr): Deutsche Fassung (EN 16258:2012)*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2013
- [140] MARTIN, H.: *Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014

- [141] BLEISCH, G. (Hrsg.); LANGOWSKI, H.-C. (Hrsg.); MAJSCHAK, J.-P. (Hrsg.): *Lexikon Verpackungstechnik*. Hamburg: Behr, 2014
- [142] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Fertigungsverfahren: Begriffe, Einteilung (DIN 8580:2003)*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2003
- [143] VDI-GESELLSCHAFT PRODUKTION UND LOGISTIK (GPL): *Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen: Begriffe, Zeiterfassung und Berechnung (VDI 3423)*. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2011
- [144] KILGER, W.; PAMPEL, J. R.; VIKAS, K.: *Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung*. Wiesbaden: Gabler, 2002
- [145] FREIDANK, C.-C.: *Kostenrechnung*. München: Oldenbourg, 2012
- [146] HANS, L.: *Grundlagen der Kostenrechnung*. München: Oldenbourg, 2002
- [147] ROHDE, C.: *Erstellung von Anwendungsbilanzen für das Jahr 2011 für das verarbeitende Gewerbe: Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB)*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung. Karlsruhe, 2012
- [148] SCHWAIGER, K.: *Ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung*. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft, 1996
- [149] STELLING, J. N.: *Kostenmanagement und Controlling*. München: Oldenbourg, 2009
- [150] ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN (AGEB): *Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2012*. Berlin, 2013
- [151] RACKOW, T.; GÖTZ, J.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Energieverbräuche in der Kosten- und Leistungsrechnung*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 110 (2015), Nr. 4, S. 218–222
- [152] SCHUDERER, P.: *Prozessorientierte Analyse und Rekonstruktion logistischer Systeme: Konzeption – Methoden – Werkzeuge*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag; Gabler, 1996
- [153] FÜNFELD, C.: *Tools zur Wirtschaftlichkeit im Industriellen Energiemanagement*. In: SCHIEFERDECKER, B.; FÜNFELD, C.; BONNESCHKY, A. (Hrsg.): *Energiemanagement-Tools: Anwendung im Industrieunternehmen*. Berlin: Springer, 2006, S. 99–186
- [154] SCHEER, A.-W.: *CIM – Computer Integrated Manufacturing: Der computergesteuerte Industriebetrieb*. Berlin, New York: Springer, 1990
- [155] RACKOW, T.; DONHAUSER, T.; HÜBLER, J.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Planung von Energieverbräuchen in der Produktion: Vorschlag und Diskussion von*

- Methoden zur Unterstützung des Energiemanagements.* In: *wt - Werkstattstechnik online* 105 (2015), Nr. 5, S. 329–333
- [156] DONHAUSER, T.; EHRHARDT, J.; RACKOW, T.; FRANKE, J.; SCHUDERER, P.: *Simulation-Based Optimization of the Energy Consumption in the Hardening Process for Calcium Silicate Masonry Units.* In: *Applied Mechanics and Materials (AMM)* 805 (2015), S. 249–256
- [157] KREITLEIN, S.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *E|Benchmark – Approaches and Methods for Assessing the Energy Efficiency of the Industrial Automated Product Manufacturing.* In: *Applied Mechanics and Materials (AMM)* 655 (2014), S. 15–20
- [158] KREITLEIN, S.; SPRENG, S.; FRANKE, J.: *E|Benchmark – A Pioneering Method for Process Planning and Sustainable Manufacturing Strategies.* In: *Procedia CIRP* 26 (2015), S. 150–155
- [159] KREITLEIN, S.; MEYER, A.; FRANKE, J.: *E|Benchmark – A Pioneering Method for Process Planning and Sustainable Manufacturing Strategies for Processes in the Electric Drives Production.* In: *2014 4th International Electric Drives Production Conference (EDPC 2014).* Piscataway, NJ: IEEE, 2014, S. 430–437
- [160] KREITLEIN, S.; SCHWENDER, S.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *E|Benchmark – A Pioneering Method for Energy Efficient Process Planning and Assessment Along the Life Cycle Process.* In: *Procedia CIRP* 29 (2015), S. 56–61
- [161] WESTKÄMPER, E.: *Einführung in die Organisation der Produktion.* Berlin: Springer, 2006
- [162] BORGMANN, E.: *Preisrisikomanagement im liberalisierten deutschen Strommarkt.* Freiberg, Technische Universität Bergakademie Freiberg. Dissertation. 2004
- [163] BERG, M.; BORCHERT, S.: *Strategischer Energieeinkauf: Der Energieeinkauf zwischen liberalisierten Märkten und einer wechselhaften Energiepolitik in Deutschland.* Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME). Frankfurt am Main, 2012
- [164] MÜLLER, E.; LÖFFLER, T.: *Mess- und Automatisierungstechnik für die energieeffiziente Produktion.* In: NEUGEBAUER, R.; GÖTZE, U.; DROSSEL, W.-G. (Hrsg.): *Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme – Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD.* Auerbach: Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2013, S. 69–80
- [165] HANDSCHUH, C.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Stellenwert von Energieeffizienz, Energiekosten und Energiemanagementsystemen in KMU: Projektarbeit im*

- Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2014
- [166] RICHTER, M.: *Energiedatenerfassung*. In: NEUGEBAUER, R. (Hrsg.): *Handbuch ressourcenorientierte Produktion*. München, Wien: Hanser, 2014, S. 191–226
- [167] THIEL, K.: *MES – Integriertes Produktionsmanagement: Leitfaden, Marktübersicht und Anwendungsbeispiele*. München: Hanser, 2011
- [168] RACKOW, T.; JAVIED, T.; GEITH, T.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Energy Controlling – Analysis and Evaluation of Energy Measuring Equipment for the Purpose of Energy Transparency in Production Plants*. In: *Applied Mechanics and Materials (AMM)* 655 (2014), S. 35–40
- [169] D'HEUREUSE, P.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Marktgrößenabschätzung für Energiedatenmanagementsysteme: Bachelorarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2014
- [170] BROSSOG, M.; HARTMANN, C.; KOHL, J.; MERHOF, J.; REICHENBACH, M.; FEY, D.; FRANK, J.: *Prozessflexible Steuerung von Industrierobotern: Integration von optischer Sensorik und Energiemesstechnik in eine automatisierte Prü fzelle*. In: *wt Werkstattstechnik online* 104 (2014), Nr. 9, S. 535–540
- [171] RACKOW, T.; JAVIED, T.; DONHAUSER, T.; MARTIN, C.; SCHUDERER, P.; FRANKE, J.: *Green Cockpit: Transparency on Energy Consumption in Manufacturing Companies*. In: *Procedia CIRP* 26 (2015), S. 498–503
- [172] HOLTEN, R.; ROTTHOWE, T.; SCHÜTTE, R.: *Grundlagen, Einsatzbereiche, Modelle*. In: SCHÜTTE, R.; ROTTHOWE, T.; HOLTEN, R. (Hrsg.): *Data Warehouse Managementhandbuch: Konzepte, Software, Erfahrungen*. Berlin, New York: Springer, 2001, S. 3–24
- [173] FLIEDER, K.: *Energietransparenz durch Business Intelligence*. In: *Productivity Management* (2012), Nr. 04, S. 33–35
- [174] BAUER, A.; GÜNZEL, H.: *Data-warehouse-Systeme: Architektur, Entwicklung, Anwendung*. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2004
- [175] GRÖNKE, K.; KIRCHMANN, M.; LEYK, J.: *Big Data: Auswirkungen auf Instrumente und Organisation der Unternehmenssteuerung*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Controlling und Big Data*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014, S. 63–82
- [176] MÜLLER, R. M.; LENZ, H.-J.: *Business Intelligence*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013
- [177] SPRENG, S.; KOHL, J.; FRANKE, J.: *Development of an Adjustable Measuring System for Electrical Consumptions in Production*. In: *Applied Mechanics and Materials (AMM)* 655 (2014), S. 41–45



- [178] THEIS, S.: *Energiedaten als Grundlage für das Energiecontrolling automatisiert erfassen*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Energiecontrolling*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014, S. 244–256
- [179] DRECHSEL, M.; BORNSCHLEGL, M.; SPRENG, S.; BREGULLA, M.; FRANKE, J.: *A new approach to integrate value stream analysis into a continuous energy efficiency improvement process*. In: *IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Piscataway, NJ: IEEE, 2013, S. 7502–7507
- [180] GLEICH, R.; HOFMANN, S.; LEYK, J.: *Planungs- und Budgetierungsinstrumente: Innovative Ansätze und Best-Practice für den Managementprozess*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2006
- [181] CAMP, R. C.: *Benchmarking*. München, Wien: Hanser, 1994
- [182] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Energieeffizienz-Benchmarking-Methodik*. Deutsche Fassung EN 16231:2012. Berlin, Wien, Zürich: Beuth, 2012
- [183] KREITLEIN, S.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Energy KPIs, Challenges for Sustainable Manufacturing Strategies, Analysis of Existing Rules and Indicators in an Industrial Environment in Relation to the Establishment of Energy Benchmark*. In: *Advanced Materials Research (AMR) 1018* (2014), S. 501–508
- [184] KREITLEIN, S.; EDER, N.; SYED-KHAJA, A.; FRANKE, J.: *Comprehensive Assessment of Energy Efficiency within the Production Process*. In: *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering 9* (2015), Nr. 7, S. 1343–1350
- [185] BOUTEN, L.; HOOZÉE, S.: *On the interplay between environmental reporting and management accounting change*. In: *Management Accounting Research 24* (2013), Nr. 4, S. 333–348
- [186] HANDSCHUH, C.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Analyse der Nachhaltigkeitsberichtserstattung von Unternehmen in Deutschland: Masterarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2015
- [187] MARTIN, A.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Konzeption, Umsetzung und Implementierung eines Energie-Controlling-Tools: Masterarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2015
- [188] SCHLESINGER, P.; RACKOW, T.; FRANKE, J.: *Konzeption und Umsetzung eines Energie-Controlling-Tools „Energy-Cockpit“: Masterarbeit im Studiengang*

*Maschinenbau*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2014

- [189] CLAUSEN, N.: *OLAP: Multidimensionale Datenbanken; Produkte, Markt, Funktionsweise und Implementierung*. Bonn: Addison-Wesley, 1998
- [190] SEUFERT, A.: *Das Controlling als Business Partner – Business Intelligence & Big Data als zentrales Aufgabenfeld*. In: GLEICH, R. (Hrsg.): *Controlling und Big Data*. Freiburg, München: Haufe-Gruppe, 2014, S. 23–46
- [191] JAVIED, T.: *TIEM: Totally Integrated Energy Management*. In: FRANKE, J.; KREITLEIN, S.; HÖFT, A. (Hrsg.): *Tagungsband zum 2. Green Factory Bavaria Kolloquium 2015: Energieeffiziente Produktion*. Erlangen: Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Friedrich-Alexander-Univ, 2015, S. 71–77

## 10 Anhang

**Tabelle 27:** Bewertung der am Markt befindlichen Energiedatenmanagement-Software hinsichtlich der Module Planung, Analyse und Kontrolle

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
Bewertung:			0	1	2	3	J	N	J	N
1	123 SmartEnergy GmbH	123 SmartBusiness	x				x			x
2	abado GmbH	abado EnMS	x				x			x
3	ABB	cpmPlus Energy Manager		x			x			x
4	ABB Automation Products GmbH	ABB zenon	x				x			x
5	acteno energy GmbH	acteno energy performance management	x				x			x
6	Adapton Energiesysteme AG	emson	x				x			x
7	AENEA	BOSS	x				x			x
8	AKTIF Technology GmbH	AKTIF dataService	x					x		x
9	AOT System GmbH	Xesa Energy	x					x		x
10	Aquanto GmbH	Aquanto COCKPIT	x				x			x
11	Arkadon Energy GmbH	eco SMART Monitor	x				x			x
12	ASKI Industrie Elektronik Gesellschaft mbh	AVS-EVP+	x				x			x
13	ASTRA Software GmbH	ASTRA Cockpit	x				x			x
14	Atcetera Gruppe	Manage Energy	x				x			x
15	Axxerion Facility Services	Axxerion	x				x			x
16	B & R Industrie-Elektronik GmbH	APROL ENMon	x				x			x
17	BEEGY GmbH	BEEGY Commercial	x					x		x
18	Berg GmbH	ENerGO+	x				x			x
19	Berg GmbH	Efficio	x				x			x
20	BI Business Intelligence GmbH	Trilith Synergy	x				x			x
21	Bilfinger HSG Facility Management GmbH	Bilfinger enerlutec	x				x			x
22	BLUENORM	BLUENORM Energiema-nagement Portal	x					x		x
23	BN Automation AG	TIBS	x				x			x
24	Bosch Energy and Building Solutions GmbH	Energy Platform	x				x			x

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
Bewertung:			0	1	2	3	J	N	J	N
25	BOSCH Thermotechnik GmbH	MEC System	x				x			x
26	CAD Computer GmbH & Co. KG	MCPS	x				x			x
27	ccc software gmbh	cccEPVI	x				x			x
28	Cebyc GmbH	Energinet	x				x			x
29	COMEXIO GmbH	COMEXIO OS	x				x			x
30	Communal-FM GmbH	COMMUNALFM®	x				x			x
31	COMTEOS Informatik GmbH	San_Reno Energiemanagement	x				x			x
32	Convia GmbH	Epos	x					x		x
33	COPA-DATA GmbH	zenon	x				x			x
34	COSMINO AG	MES Plus	x					x		x
35	Cotopaxi Ltd	Strata	x				x			x
36	Cylon Controls Ltd	Active Energy Manager	x				x			x
37	Delphin Technology AG	ProfiSignal	x				x			x
38	DEOS AG	OPENenergy	x				x			x
39	Device Insight	CENTERSIGHT®	x				x			x
40	deZem GmbH	deZemVis	x				x			x
41	dibalog Betriebs- und Energiemanagement GmbH	Energiemanagementsystem EAS 4.000	x				x			x
42	Digitronic Automationsanlagen GmbH	EnergieManagementServer EMS	x				x			x
43	Discovergy GmbH	Smart Energy Portal	x				x			x
44	Dr. Tanneberger GmbH	bDat1000 - enertec	x				x			x
45	E.ON Connecting Energies GmbH	E.ON Energy Management SV2	x					x		x
46	E.Q Energy GmbH	energie-kundenservice.de	x					x		x
47	EBCsoft GmbH	VITRIcon	x				x			x
48	EBSnet eEnergy Software GmbH	myXEnergy	x				x			x
49	ECA-Software GmbH	ECA-EnergieMonitoring	x				x			x
50	econ solutions GmbH	econ app	x				x			x
51	econ solutions GmbH	econ 3	x				x			x
52	econ solutions GmbH	econ 3.0	x				x			x
53	EHA Energie-Handels-Gesellschaft mbH & Co. KG	EHA Informationssystem	x				x			x
54	ELKO Vertriebs GmbH	Power Studio Scada	x				x			x

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
			Bewertung:				J	N	J	N
55	emation GmbH	e3m	x				x			x
56	Emerson Process Management GmbH & Co. OHG	Emerson Energy Advisor	x				x			x
57	EMPURON AG	EVE-EMPURON VISUAL EFFICIENCY	x				x			x
58	enable energy solutions GmbH	ecomplete	x				x			x
59	Enamic Immobilien GmbH	KalorKonto	x					x		x
60	energieeffizienz Ingenieure GmbH	smart:ES	x					x		x
61	Energy Team SpA	Energy Sentinel	x				x			x
62	Energy Screen GmbH	EnergyScreen	x				x			x
63	enexion GmbH	ISO 50001 Manager	x				x			x
64	enexoma AG	Enexoma Suite V 3.1.3	x				x			x
65	ennovatis GmbH	ennovatis Controlling V6	x				x			x
66	Ensys AG	EnergySuite	x				x			x
67	ENTEKA	ENTEKA Energiemanagement Portal	x				x			x
68	Envidatec GmbH	JEVis 2.2	x				x			x
69	eSight Energy    Endress und Hauser	eSight	x				x			x
70	EUDT GmbH	Smart Energy Management	x				x			x
71	Evolution Energie	Flexinergy	x				x			x
72	evon GmbH	EMSControl	x				x			x
73	FELTEN Group	PILOT green	x				x			x
74	FIRST CLASS Management + Business Consulting GmbH	Lean Energy Management Portal (System)	x				x			x
75	FlowChief GmbH	e-Gem	x				x			x
76	FMSbase UG	FMSBASE EM	x				x			x
77	Frako	EMVIS 3000 V1.2	x				x			x
78	Fritz Husemann GmbH & Co. KG	E3con	x				x			x
79	FW Systeme GmbH	FrontOffice	x				x			x
80	geff GmbH / eSight Energy	gEMS	x				x			x
81	GFR mbH	WEBENCON V4.2	x				x			x
82	GILDEMEISTER energy efficiency GmbH	GILDEMEISTER energy monitor	x				x			x

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
Bewertung:			0	1	2	3	J	N	J	N
83	GIS Projekt	Facility Management Systems VISAFM Raumbuch	x				x			x
84	GMC-I Messtechnik GmbH	U1500-System	x				x			x
85	GMC-I Messtechnik GmbH	EMC 5.x	x				x			x
86	GPI GmbH	BlueLiKon	x				x			x
87	GreenPocket GmbH	Energiemanagementsoftware für Gewerbekunden	x				x			x
88	GTI-control GmbH	ResMa V 1.9		x			x			x
89	Heidec GmbH	Heidec SOL System	x				x			x
90	HERMES SYSTEME GmbH	ProView	x					x		x
91	HERMOS Systems GmbH	FIS#energy	x				x			x
92	HOCHHUTH GmbH	MESSDAS	x				x			x
93	Honeywell Building Solutions GmbH	Honeywell Energy Manager R	x				x			x
94	Hörburger AG	ShopInsightTM	x				x			x
95	Hörburger AG	EnergyInsightTM	x				x			x
96	I.T.E.N.O.S. GmbH	aktiveOperation	x					x		x
97	ICONAG-Leittechnik GmbH	EnMS	x				x			x
98	iMes Solutions GmbH	Plant Historian EM	x				x			x
99	IMS GmbH	IMSware	x					x		x
100	InCaTec Solution GmbH	Axxerion	x				x			x
101	INCLUDIS GmbH	INCLUDIS.energy	x				x			x
102	Industriepark Troisdorf GmbH	TroInform-Web	x				x			x
103	Ing.-Büro Dr.-Ing. Pöthkow	SOcontrol	x					x		x
104	Ingenieurgesellschaft für Gebäudeautomation mbH	EIQ-Energiemanagement-Software	x				x			x
105	Ingsoft GmbH	IngSoft InterWatt	x				x			x
106	InQu Informatics GmbH	InQu.EMS	x					x		x
107	inray Industriesoftware GmbH	FAS-Energieportal	x				x			x
108	INSTAR IST Ostrava a.s.	ENERGIS	x				x			x
109	intecsoft GmbH & Co. KG	intecware::cENtERGY	x				x			x

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
			Bewertung:				J	N	J	N
110	IPAS GmbH	ComBridge Studio Smart Meter	x				x			x
111	ISPEX AG	ispexEnergiekonto	x				x			x
112	ISPEX AG	ISPEX energiekonto	x				x			x
113	ITC AG	ITC PowerCommerce EnMS	x				x			x
114	ITVT GmbH	"KEM" Kommunale Energieimangement	x				x			x
115	Janitza electronics GmbH	GridVis Enterprise	x				x			x
116	Janitza electronics GmbH	GridVis Professional	x				x			x
117	Janitza electronics GmbH	GridVis Service	x				x			x
118	Janitza electronics GmbH	GridVis Ultimate	x				x			x
119	KBR GmbH	visual energy 4	x				x			x
120	KBR GmbH	visual energy 4.5 R6	x				x			x
121	Keßler Real Estate Solutions GmbH	FAMOS	x				x			x
122	KEVAG	EnergyControllingSystem ECS	x				x			x
123	Kieback & Peter GmbH & Co. KG	Energiemanagement	x				x			x
124	Kieback & Peter GmbH & Co. KG	Qanteon	x				x			x
125	Kisters AG	ProCos EMS	x				x			x
126	KRIKO Engineering GmbH	KRIS <sup>3</sup>	x				x			x
127	krumedia GmbH	enerchart	x				x			x
128	Limon GmbH	é.VISOR Energiemonitoring & Effizienzbewertung	x				x			x
129	Lindner Elektronik GmbH	Logit/Logit-SQL	x				x			x
130	LOKISA Smart Energy GmbH	Smart4Energy Energiemanagement Professional	x				x			x
131	Lovato Electric GmbH	Synergy	x				x			x
132	M.A.C. System Solutions GmbH	EMSserver	x				x			x
133	manageE GmbH & Co KG	mE2020	x				x			x
134	Mangelberger Elektrotechnik GmbH	ZEMS Energy- und HACCP Management System	x				x			x

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
Bewertung:			0	1	2	3	J	N	J	N
135	Meine-Energie GmbH	Energiekonto	x				x			x
136	messWERK GmbH	PowerStudio Scada	x				x			x
137	MST System Solutions GmbH	EM - Energiemonitoring	x				x			x
138	N+P Informationssysteme GmbH	SPARTACUS Facility Management	x				x			x
139	narz systems GmbH & Co. KG	narz EMS V8.9	x				x			x
140	Neuberger Gebäudeautomation GmbH	ProEnergie	x				x			x
141	NZR®	VADEV®	x				x			x
142	ÖKOTEC Energiemanagement GmbH	EnEffCo	x				x			x
143	on/off it-solutions gmbh	InfoCarrier	x				x			x
144	PE INTERNATIONAL AG	SoFi Software	x				x			x
145	Plan Energie GmbH & Co. KG	PEC® Plan Energie Controlling	x				x			x
146	preussen automation GmbH	Mavacon	x				x			x
147	PRIVA Building Intelligence GmbH	Priva TC Energy	x				x			x
148	Progea Deutschland GmbH	Movicon Pro.Energy	x				x			x
149	ProLeiT AG	Plan iT EnMS		x			x			x
150	Pureenergy GmbH & Co. KG	Pureenergy View	x				x			x
151	QOSIT AG	Umweltmanager Energie	x				x			x
152	RED KILOWATT Energiemanagement GmbH	ClimaCloud Energiemanagement	x				x			x
153	Remake Electric ehf.	eTactica	x				x			x
154	RIT group GmbH	EMmaster©	x				x			x
155	RK-Prozeßtechnik GmbH & Co. KG	tEMS	x					x		x
156	Robotron Datenbank-Software GmbH	robotron*eprofiler		x			x			x
157	RSW Technik GmbH	ISO Manager, LEO - Leitsystem zur Energieoptimierung	x				x			x
158	RWE Energiedienstleistungen GmbH	RWE Energie-Monitoring	x				x			x



Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
Bewertung:			0	1	2	3	J	N	J	N
159	S&K Anlagentechnik GmbH	skems	x				x			x
160	Saia-Burgess Controls AG	S-Monitoring	x				x			x
161	Sauter-Cumulus GmbH	Sauter EMS 100 Energy Management Solution Software V2.8.2	x				x			x
162	Schneider Electric	StruxureWare Energy Operation	x				x			x
163	Schneider Electric	StruxureWare Power Monitoring Expert	x				x			x
164	Schneider Electric	StruxureWare Resource Advisor	x				x			x
165	Schneider Electric	Wonderware Corporate Energy Management (CEM)	x				x			x
166	Schneider Electric	FMSbase EM	x				x			x
167	SEAR GmbH	MES-ISYS	x				x			x
168	Siemens AG	Advantage™ Navigator	x				x			x
169	Siemens AG	powermanager	x				x			x
170	Siemens AG	Energy Analytics		x			x			x
171	Siemens AG	SIMATIC powerrate	x				x			x
172	Siemens AG	SIMATIC B.Data		x			x			x
173	Siemens AG	Spectrum Power™	x				x			x
174	SMARTEN GmbH	ECO Track-Visual	x				x			x
175	SOCOMEK	HYPERVIEW	x				x			x
176	Solar-Data	E58-Energiemanagement	x				x			x
177	Solvera Lynx	GemaLogic	x				x			x
178	spelsberg gebäudeautomation GmbH	Powerbat Energiemanagement	x				x			x
179	Steinhaus Informationssysteme GmbH	TeBIS V 2.7	x				x			x
180	STULZ GmbH	e-compTrol	x					x		x
181	Süwag Erneuerbare Energien GmbH	Süwag Energie Monitoring	x				x			x
182	SWK Energie GmbH	SWK ECO	x				x			x
183	Syracos Management-systeme GmbH	Cassys Energy Manager	x				x			x
184	SYS.TEC Gebäudeautomation GmbH & Co.KG	Energie-Reporter	x				x			x

Nr.	Hersteller	Software-Bezeichnung	Planung				Analyse		Kontrolle	
Bewertung:			0	1	2	3	J	N	J	N
185	SYSTECH Systemtechnik GmbH	CMA32-OPC	x				x			x
186	T&G Solutions GmbH	MEPIS Energy	x				x			x
187	Techem Energy Contracting GmbH	Techem Energiemonitoring Software	x				x			x
188	Tengelmann Energie GmbH	EnerBoard	x				x			x
189	TIGEV Ingenieurgesellschaft mbH	Energie MS	x				x			x
190	TIS Engineering	my energiemanagement V7.8.2	x					x		x
191	TOTAL Energieeffizienz Netzwerk Agentur (TENAG GmbH)	EnergyWeb	x				x			x
192	Vattenfall Europe Sales GmbH	Energie Controlling Online (ECO)	x				x			x
193	VIDEC GmbH	ACROn	x				x			x
194	VIPA Gesellschaft für Visualisierung und Prozessautomatisierung mbH	VIPA Green Solution – EnMS	x				x			x
195	VISAM GmbH	VBase - VISAM Automation Base	x				x			x
196	Voith Paper GmbH & Co. KG	OnV EnergyProfiler	x				x			x
197	Vorarlberger Kraftwerke AG	VKW Energiecockpit	x				x			x
198	WEBfactory GmbH	WEBfactory proactive EMS	x				x			x
199	WEBfactory GmbH	i4Energy	x				x			x
200	Weidmüller Gruppe	Energie-Manager	x					x		x
201	Weidmüller Gruppe	ecoExplorer	x				x			x
202	werusys GmbH & Co. KG	SynergyVision V1.2	x				x			x
203	WGS Energietechnik GmbH	EDM	x				x			x
204	WIPS-com GmbH	WIPS 3.0	x				x			x
205	WiriTec GmbH	WiriTec CA	x				x			x
206	WISAG GmbH	INSCONTROL-SL	x				x			x
207	Wurm GmbH & Co. KG Elektronische Systeme	FRIGODATA ONLINE	x				x			x
208	Zimmermann Industrieservice GmbH	EMSyst	x				x			x

J = Ja, N = Nein

**Tabelle 28:** *Quellennachweis der Energiedatenmanagement-Software-Anbieter, letzter Abruf am 07.06.2016*

Nr.	Internetadresse
1	<a href="http://www.123smartenergy.com/index.php/123SmartBusiness.html">http://www.123smartenergy.com/index.php/123SmartBusiness.html</a>
2	<a href="http://www.abado-energiemanagement.de/uebersicht-beratung-energieeffizienz-energiemanagement-iso50001.html">http://www.abado-energiemanagement.de/uebersicht-beratung-energieeffizienz-energiemanagement-iso50001.html</a>
3	<a href="https://library.e.abb.com/public/d69b75d691d32e62852577a40048d6ae/cpmPlus_Energy_Manager_brochure_DE_130910_FINAL.pdf">https://library.e.abb.com/public/d69b75d691d32e62852577a40048d6ae/cpmPlus_Energy_Manager_brochure_DE_130910_FINAL.pdf</a>
4	<a href="http://new.abb.com/drives/media/abb-zenon-extends-automation-solutions">http://new.abb.com/drives/media/abb-zenon-extends-automation-solutions</a>
5	<a href="http://www.acteno.de/wcms/de/loesungen/messstellenbetrieb">http://www.acteno.de/wcms/de/loesungen/messstellenbetrieb</a>
6	<a href="http://adapton.net/">http://adapton.net/</a>
7	<a href="http://www.aenea.de/erfass.html">http://www.aenea.de/erfass.html</a>
8	<a href="http://www.aktif-technology.com/index.php?id=23">http://www.aktif-technology.com/index.php?id=23</a>
9	<a href="http://www.aotsystem.net/Site_Prozess.aspx">http://www.aotsystem.net/Site_Prozess.aspx</a>
10	<a href="http://www.aquanto.de/energiecontrolling.html">http://www.aquanto.de/energiecontrolling.html</a>
11	<a href="http://www.arkadon.de/smart-energy-solutions/produkte/eco-smart-monitor-energiemanagement/">http://www.arkadon.de/smart-energy-solutions/produkte/eco-smart-monitor-energiemanagement/</a>
12	<a href="http://www.aski.at/?site=avs-energie-visual">http://www.aski.at/?site=avs-energie-visual</a>
13	<a href="http://www.astra-software.de/software-tools/cockpit/cockpit-industrial/vorteile/">http://www.astra-software.de/software-tools/cockpit/cockpit-industrial/vorteile/</a>
14	<a href="http://www.atcetera.de/PHPWCMS/index.php?de_leistungen_manageenergy">http://www.atcetera.de/PHPWCMS/index.php?de_leistungen_manageenergy</a>
15	<a href="http://www.axxerion.com/en/modules/energy-management/">http://www.axxerion.com/en/modules/energy-management/</a>
16	<a href="http://www.br-automation.com/de-de/branchen/holz/ihr-produkt/">http://www.br-automation.com/de-de/branchen/holz/ihr-produkt/</a>
17	<a href="http://www.beegy.com/?gclid=CP3C4cOGmskCFRSeGwod7loLKA">http://www.beegy.com/?gclid=CP3C4cOGmskCFRSeGwod7loLKA</a>
18	<a href="http://www.berg-energie.de/produkte/energiemanagement/">http://www.berg-energie.de/produkte/energiemanagement/</a>
19	<a href="http://www.berg-energie.de/produkte/energiemanagement/">http://www.berg-energie.de/produkte/energiemanagement/</a>
20	<a href="https://www.bi-web.de/produkte/branchenneutral/energiemanagement-system">https://www.bi-web.de/produkte/branchenneutral/energiemanagement-system</a>
21	<a href="http://www.facilitymanagement.bilfinger.com/leistungen/energie/energie-management/">http://www.facilitymanagement.bilfinger.com/leistungen/energie/energie-management/</a>
22	Keine Homepage verfügbar
23	<a href="http://www.bn-automation.com/files/downloads/downloadcenter/produktbroschueren/BNA-Produktblatt-Energiemanagement-A4-web.pdf">http://www.bn-automation.com/files/downloads/downloadcenter/produktbroschueren/BNA-Produktblatt-Energiemanagement-A4-web.pdf</a>
24	<a href="http://www.boschenergy.de/de/standardpages/unsere_leistungen/weitere_leistungen/energy_platform/energy_platform_single_page.html">http://www.boschenergy.de/de/standardpages/unsere_leistungen/weitere_leistungen/energy_platform/energy_platform_single_page.html</a>
25	<a href="http://www.bosch-industrial.com/files/Flyer_Master-Energy-Control_de_COM.pdf">http://www.bosch-industrial.com/files/Flyer_Master-Energy-Control_de_COM.pdf</a>
26	<a href="http://www.cad-computer.de/Energie.html">http://www.cad-computer.de/Energie.html</a>
27	<a href="http://www.ccc-industriesoftware.de/news/ccc-punktet-mit-Energiemanagementsoftware-cccEPVI-auf-Enertec-ccc-software-Leipzig.php">http://www.ccc-industriesoftware.de/news/ccc-punktet-mit-Energiemanagementsoftware-cccEPVI-auf-Enertec-ccc-software-Leipzig.php</a>
28	<a href="http://www.energinet.dk/EN/EI/Sider/default.aspx">http://www.energinet.dk/EN/EI/Sider/default.aspx</a>
29	<a href="http://www.comexio.com/hallo-energiemanagement/">http://www.comexio.com/hallo-energiemanagement/</a>
30	<a href="http://www.communalfm.de/software/software-module/energiemanagement.html">http://www.communalfm.de/software/software-module/energiemanagement.html</a>
31	<a href="http://www.comteos.de/energy.html">http://www.comteos.de/energy.html</a>
32	<a href="https://www.epos-cat.de/cms/live/">https://www.epos-cat.de/cms/live/</a>

Nr.	Internetadresse
33	<a href="http://www.copadata.com/de/industrien/hot-topics/energiedaten-management-mit-zenon.html?backpid=2710&amp;branch=63&amp;category=72&amp;pool=1893&amp;cHash=5cb921ea1c844b86e325e8b2651b93f0">http://www.copadata.com/de/industrien/hot-topics/energiedaten-management-mit-zenon.html?backpid=2710&amp;branch=63&amp;category=72&amp;pool=1893&amp;cHash=5cb921ea1c844b86e325e8b2651b93f0</a>
34	<a href="http://www.cosmino.de/">http://www.cosmino.de/</a>
35	<a href="https://www.cotopaxienergy.com/wp-content/uploads/2015/05/Strata-Brochure.pdf">https://www.cotopaxienergy.com/wp-content/uploads/2015/05/Strata-Brochure.pdf</a>
36	<a href="http://www.cylon.com/de/assets/media/Pdfs/Resources/German%20Brochures/active_energy_german%20v3.pdf">http://www.cylon.com/de/assets/media/Pdfs/Resources/German%20Brochures/active_energy_german%20v3.pdf</a>
37	<a href="http://www.delphin.de/software/profisignal-go.html">http://www.delphin.de/software/profisignal-go.html</a>
38	<a href="http://openenergymonitor.org/emon/">http://openenergymonitor.org/emon/</a>
39	<a href="http://device-insight.com/insightdevice/products/csdatasheet_e.html">http://device-insight.com/insightdevice/products/csdatasheet_e.html</a>
40	<a href="https://www.dezem.de/de/energiemanagementsystem/analysesoftware">https://www.dezem.de/de/energiemanagementsystem/analysesoftware</a>
41	<a href="http://www.dibalog.de/produkte/betriebsdatenerfassung-eas/software-eas.html">http://www.dibalog.de/produkte/betriebsdatenerfassung-eas/software-eas.html</a>
42	<a href="http://www.digitronic.com/index.php?id=181">http://www.digitronic.com/index.php?id=181</a>
43	<a href="https://discovery.com/solutions?">https://discovery.com/solutions?</a>
44	<a href="http://www.tanneberger.de/padicon.html">http://www.tanneberger.de/padicon.html</a>
45	<a href="https://www.eon.de/gk/de/grosskunden/energiepartner/eon-digital.html">https://www.eon.de/gk/de/grosskunden/energiepartner/eon-digital.html</a>
46	Keine Homepage verfügbar
47	<a href="http://ebcsoft.de/wp-content/uploads/pdf/vitricon_cafmsoftware.pdf">http://ebcsoft.de/wp-content/uploads/pdf/vitricon_cafmsoftware.pdf</a>
48	<a href="http://www.ebsnet.de/index.php/loesungen/energiemanagementloesungen-gesamtloesung-im-ueberblick/produktbroschuere.html">http://www.ebsnet.de/index.php/loesungen/energiemanagementloesungen-gesamtloesung-im-ueberblick/produktbroschuere.html</a>
49	<a href="http://www.eca-software.de/energiemanagement_software.html">http://www.eca-software.de/energiemanagement_software.html</a>
50	<a href="http://www.econ-solutions.de/econ-3-0/">http://www.econ-solutions.de/econ-3-0/</a>
51	<a href="http://www.econ-solutions.de/">http://www.econ-solutions.de/</a>
52	<a href="http://www.econ-solutions.de/">http://www.econ-solutions.de/</a>
53	<a href="http://www.eha.net/produkte/eha-energiecontrolling.html">http://www.eha.net/produkte/eha-energiecontrolling.html</a>
54	<a href="http://powerstudioscada.circutor.com/">http://powerstudioscada.circutor.com/</a>
55	<a href="http://www.e3m.de/de/technologie/e3m_data_center/">http://www.e3m.de/de/technologie/e3m_data_center/</a>
56	<a href="http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EnergyAdvisorDS.pdf">http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EnergyAdvisorDS.pdf</a>
57	<a href="http://www.empuron.com/documents/10180/15347/empuron_Smart_Integration_DE.pdf/6ff88f00-b204-4fa6-a548-cbd1c49edd36">http://www.empuron.com/documents/10180/15347/empuron_Smart_Integration_DE.pdf/6ff88f00-b204-4fa6-a548-cbd1c49edd36</a>
58	<a href="http://www.enable-e-s.de/index.php/Energiedatenmanagementsystem.enable">http://www.enable-e-s.de/index.php/Energiedatenmanagementsystem.enable</a>
59	<a href="https://www.mvv-energie.de/de/geschaeftskunden/industrie__handel__gewerbe/industrie_handel_gewerbe.jsp">https://www.mvv-energie.de/de/geschaeftskunden/industrie__handel__gewerbe/industrie_handel_gewerbe.jsp</a>
60	<a href="http://www.energieeffizienz.com/de/unternehmen">http://www.energieeffizienz.com/de/unternehmen</a>
61	<a href="http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/Electrical/ProductsandServices/PowerQualityandMonitoring/EndofLifeProducts/IQEnergySentinel/index.htm">http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/Electrical/ProductsandServices/PowerQualityandMonitoring/EndofLifeProducts/IQEnergySentinel/index.htm</a>
62	<a href="http://www.energyscreen.de/">http://www.energyscreen.de/</a>
63	<a href="http://enexion.net/produkte/iso-50001-manager/leistung/">http://enexion.net/produkte/iso-50001-manager/leistung/</a>
64	<a href="http://enexoma.de/portfolio/ems/">http://enexoma.de/portfolio/ems/</a>
65	<a href="http://demoportal.ennovatis.de/hagenow/downloads/ennovatis_Controlling.pdf">http://demoportal.ennovatis.de/hagenow/downloads/ennovatis_Controlling.pdf</a>

Nr.	Internetadresse
66	<a href="http://www.ensys.de/fileadmin/content/Downloads/Produktblatt_Monitoring.pdf">http://www.ensys.de/fileadmin/content/Downloads/Produktblatt_Monitoring.pdf</a>
67	<a href="https://www.entega.de/fileadmin/_migrated/Weitere_Produnkte/Energieeffizienz_PK/Energieeffizienz_GK_neu/Beratung/ENTEKA_Energiemanagement-Portal.pdf">https://www.entega.de/fileadmin/_migrated/Weitere_Produnkte/Energieeffizienz_PK/Energieeffizienz_GK_neu/Beratung/ENTEKA_Energiemanagement-Portal.pdf</a>
68	<a href="http://www.envidatec.com/energie-monitoring/">http://www.envidatec.com/energie-monitoring/</a>
69	<a href="http://www.endress.com/de/produkte-feldinstrumentierung/software-loesungen-process-automation/Energie-Software-eSight-MSE10">http://www.endress.com/de/produkte-feldinstrumentierung/software-loesungen-process-automation/Energie-Software-eSight-MSE10</a>
70	<a href="http://www.eudt.at/energiemanagement/">http://www.eudt.at/energiemanagement/</a>
71	<a href="http://evolutionenergie.com/products/flexinergy/">http://evolutionenergie.com/products/flexinergy/</a>
72	<a href="http://www.evon-automation.com/images/downloads/folder_emscontrol.pdf">http://www.evon-automation.com/images/downloads/folder_emscontrol.pdf</a>
73	<a href="http://www.felten-group.com/produkte/pilot-green/">http://www.felten-group.com/produkte/pilot-green/</a>
74	<a href="http://www.1-class.com/de/expertise/lean-energy-management-lem.html">http://www.1-class.com/de/expertise/lean-energy-management-lem.html</a>
75	<a href="http://www.flowchief.de/de/service/downloads/item/download/263_84616fb95059a6754dc9151a5e16b054">http://www.flowchief.de/de/service/downloads/item/download/263_84616fb95059a6754dc9151a5e16b054</a>
76	<a href="http://www.wwglit.de/energiemonitoring.php">http://www.wwglit.de/energiemonitoring.php</a>
77	<a href="http://www.frako.com/produkte/ems-systemkomponenten/">http://www.frako.com/produkte/ems-systemkomponenten/</a>
78	<a href="http://www.e3con.de/wasbringte3con.html">http://www.e3con.de/wasbringte3con.html</a>
79	<a href="http://www.fw-systeme.de/index.php/energiemanagement.html">http://www.fw-systeme.de/index.php/energiemanagement.html</a>
80	<a href="http://www.esightenergy.com/de/">http://www.esightenergy.com/de/</a>
81	<a href="http://www.gfr.de/de/energiemanagement-iso50001/energiedatenmanagement-webencon-247.html">http://www.gfr.de/de/energiemanagement-iso50001/energiedatenmanagement-webencon-247.html</a>
82	<a href="http://energy.gildemeister.com/de/einsparen/energiemonitoring">http://energy.gildemeister.com/de/einsparen/energiemonitoring</a>
83	<a href="http://www.visa-fm.de/fachmodule/energiemanagement.html">http://www.visa-fm.de/fachmodule/energiemanagement.html</a>
84	<a href="https://www.gossenmetrawatt.com/deutsch/seiten/ecs-energiecontrolsystem.htm">https://www.gossenmetrawatt.com/deutsch/seiten/ecs-energiecontrolsystem.htm</a>
85	<a href="https://www.gossenmetrawatt.com/deutsch/seiten/ecs-energiecontrolsystem.htm">https://www.gossenmetrawatt.com/deutsch/seiten/ecs-energiecontrolsystem.htm</a>
86	<a href="http://www.gpi-stenn.de/produkte/bluelikon/">http://www.gpi-stenn.de/produkte/bluelikon/</a>
87	<a href="http://www.greenpocket.de/produkte/greenpocket-losung/energy-expert-engine/">http://www.greenpocket.de/produkte/greenpocket-losung/energy-expert-engine/</a>
88	<a href="http://www.gti.de/loesungen-fuer-hmi/energiemanagement/">http://www.gti.de/loesungen-fuer-hmi/energiemanagement/</a>
89	<a href="http://heidec.eu/">http://heidec.eu/</a>
90	<a href="http://www.hermes-systeme.de/index.php">http://www.hermes-systeme.de/index.php</a>
91	<a href="http://www.hermos-systems.de/newsite/index.php?id=57">http://www.hermos-systems.de/newsite/index.php?id=57</a>
92	<a href="http://hochhuth.de/produkte/software/">http://hochhuth.de/produkte/software/</a>
93	<a href="https://honeywell.com/sites/hbs/dienstleistungen/Energie/Pages/energie-management.aspx">https://honeywell.com/sites/hbs/dienstleistungen/Energie/Pages/energie-management.aspx</a>
94	<a href="http://www.shopinsight.de/index.php/produkt.html">http://www.shopinsight.de/index.php/produkt.html</a>
95	<a href="http://www.shopinsight.de/index.php/produkt.html">http://www.shopinsight.de/index.php/produkt.html</a>
96	<a href="https://www.itenos.de/language/de/networks/unsere-leistungen-im-ueberblick/">https://www.itenos.de/language/de/networks/unsere-leistungen-im-ueberblick/</a>
97	<a href="http://www.iconag.de/energie.html">http://www.iconag.de/energie.html</a>
98	<a href="http://www.imes-solutions.com/de_products_plant-historian_energiemanagement.html">http://www.imes-solutions.com/de_products_plant-historian_energiemanagement.html</a>
99	<a href="http://www.ims-gmbh.de/de/home/">http://www.ims-gmbh.de/de/home/</a>
100	<a href="http://incatecsolution.eu/energiemanagement/">http://incatecsolution.eu/energiemanagement/</a>
101	<a href="http://www.includis.com/neuigkeiten/includisenergy-energiemonitoring-neu-0512/">http://www.includis.com/neuigkeiten/includisenergy-energiemonitoring-neu-0512/</a>

Nr.	Internetadresse
102	<a href="https://www.iptro.de/leistungen/energiedatenmanagementsoftware/">https://www.iptro.de/leistungen/energiedatenmanagementsoftware/</a>
103	Keine Homepage verfügbar
104	<a href="http://www.e-iq.info/">http://www.e-iq.info/</a>
105	<a href="http://www.ingsoft.de/Energiemanagementsystem_IngSoft_InterWatt.ingsoft">http://www.ingsoft.de/Energiemanagementsystem_IngSoft_InterWatt.ingsoft</a>
106	<a href="http://www.inqu.de/prozessmanagement.html">http://www.inqu.de/prozessmanagement.html</a>
107	<a href="https://www.inray.de/loesungen/energiemanagement.html">https://www.inray.de/loesungen/energiemanagement.html</a>
108	<a href="http://www.instar.cz/en/energis/funkce/">http://www.instar.cz/en/energis/funkce/</a>
109	<a href="http://www.intecsoft.de/intecsoft/loesungen/energiemanagement">http://www.intecsoft.de/intecsoft/loesungen/energiemanagement</a>
110	<a href="http://www.ipas-products.com/dx/e_evolution_app5.php">http://www.ipas-products.com/dx/e_evolution_app5.php</a>
111	<a href="https://www.ispex.de/wp-content/uploads/2014/06/ISPEX_Infoblatt_Energiekonto.pdf">https://www.ispex.de/wp-content/uploads/2014/06/ISPEX_Infoblatt_Energiekonto.pdf</a>
112	<a href="https://www.ispex.de/wp-content/uploads/2014/06/ISPEX_Infoblatt_Energiekonto.pdf">https://www.ispex.de/wp-content/uploads/2014/06/ISPEX_Infoblatt_Energiekonto.pdf</a>
113	<a href="http://www.itc-ag.com/loesungen-produkte/produkte/powercommerce-enms/index.html">http://www.itc-ag.com/loesungen-produkte/produkte/powercommerce-enms/index.html</a>
114	<a href="http://www.itvt.de/content/downloads/ITVT_EnMS_L%C3%B6sung.pdf">http://www.itvt.de/content/downloads/ITVT_EnMS_L%C3%B6sung.pdf</a>
115	<a href="http://www.janitza.de/gridvis.html">http://www.janitza.de/gridvis.html</a>
116	<a href="http://www.janitza.de/gridvis.html">http://www.janitza.de/gridvis.html</a>
117	<a href="http://www.janitza.de/gridvis.html">http://www.janitza.de/gridvis.html</a>
118	<a href="http://www.janitza.de/gridvis.html">http://www.janitza.de/gridvis.html</a>
119	<a href="http://www.visualenergy.de/visual-energy-4-web.aspx">http://www.visualenergy.de/visual-energy-4-web.aspx</a>
120	<a href="http://www.visualenergy.de/visual-energy-4-web.aspx">http://www.visualenergy.de/visual-energy-4-web.aspx</a>
121	<a href="http://www.kessler-solutions.de/cafm-loesung/module/technisches-fm.html">http://www.kessler-solutions.de/cafm-loesung/module/technisches-fm.html</a>
122	<a href="https://www.evm.de/evm/Homepage/Gesch%C3%A4ftskunden/Energie-Controllingsystem/">https://www.evm.de/evm/Homepage/Gesch%C3%A4ftskunden/Energie-Controllingsystem/</a>
123	<a href="http://www.kieback-peter.de/de-de/produkte/energiemanagement/software-energiemanagement/">http://www.kieback-peter.de/de-de/produkte/energiemanagement/software-energiemanagement/</a>
124	<a href="http://www.kieback-peter.de/de-de/produkte/gebaeudemanagement/qanteon/">http://www.kieback-peter.de/de-de/produkte/gebaeudemanagement/qanteon/</a>
125	<a href="https://www.kisters.de/energie/produkte/procos-netzleitsystem/p/ems-49.html">https://www.kisters.de/energie/produkte/procos-netzleitsystem/p/ems-49.html</a>
126	<a href="http://www.kriko.com/produkte/energiemanagementsystem-kris/funktionsumfang-energiemanagement-kris3.html">http://www.kriko.com/produkte/energiemanagementsystem-kris/funktionsumfang-energiemanagement-kris3.html</a>
127	<a href="http://www.krumedial.com/">http://www.krumedial.com/</a>
128	<a href="http://www.limon-gmbh.de/leistungen/energiemonitoring/">http://www.limon-gmbh.de/leistungen/energiemonitoring/</a>
129	<a href="http://www.lindner-elektronik.de/">http://www.lindner-elektronik.de/</a>
130	<a href="http://www.smart4energy.com/de/business-systems/business-monitoring">http://www.smart4energy.com/de/business-systems/business-monitoring</a>
131	<a href="http://www.lovatoelectric.de/Software-for-energy-management/7/cnt">http://www.lovatoelectric.de/Software-for-energy-management/7/cnt</a>
132	<a href="http://www.macsystemsolutions.com/industries">http://www.macsystemsolutions.com/industries</a>
133	<a href="http://www.managee.de/produkte/me180-controller/">http://www.managee.de/produkte/me180-controller/</a>
134	<a href="http://www.mangelberger.com/loesungen/energiemanagement.html">http://www.mangelberger.com/loesungen/energiemanagement.html</a>
135	<a href="http://www.meine-energie.de/leistungen/din-iso-50001-und-emas.html">http://www.meine-energie.de/leistungen/din-iso-50001-und-emas.html</a>
136	<a href="http://www.messwerk-gmbh.de/visualisierung.htm">http://www.messwerk-gmbh.de/visualisierung.htm</a>
137	<a href="http://www.mst-solutions.de/content/em-solutions">http://www.mst-solutions.de/content/em-solutions</a>
138	<a href="http://www.nupis.de/cafm/druck/1.html">http://www.nupis.de/cafm/druck/1.html</a>

Nr.	Internetadresse
139	<a href="http://www.narz.net/uploads/media/narz_EMS.pdf">http://www.narz.net/uploads/media/narz_EMS.pdf</a>
140	<a href="http://www.neuberger.net/">http://www.neuberger.net/</a>
141	<a href="http://www.nzr.de/download.php?id=1108">http://www.nzr.de/download.php?id=1108</a>
142	<a href="http://www.oekotec.de/de/eneffco/">http://www.oekotec.de/de/eneffco/</a>
143	<a href="http://www.onoff-group.de/produkte/monitoring-systeme.htm">http://www.onoff-group.de/produkte/monitoring-systeme.htm</a>
144	<a href="https://www.thinkstep.com/software/corporate-sustainability/energy-management-suite">https://www.thinkstep.com/software/corporate-sustainability/energy-management-suite</a>
145	<a href="https://www.plan-energie.de/controlling/controllingsystem/">https://www.plan-energie.de/controlling/controllingsystem/</a>
146	<a href="http://www.mavacon.eu/">http://www.mavacon.eu/</a>
147	<a href="http://www.privaweb.de/produkte/gebaeudeautomation/tc-energy/">http://www.privaweb.de/produkte/gebaeudeautomation/tc-energy/</a>
148	<a href="http://www.progea.com/en-us/products/proenergy.aspx">http://www.progea.com/en-us/products/proenergy.aspx</a>
149	<a href="http://www.proleit.de/loesungen/energiemanagementsysteme-enms/energiedatenanalyse.html">http://www.proleit.de/loesungen/energiemanagementsysteme-enms/energiedatenanalyse.html</a>
150	<a href="http://www.pureenergy-solution.de/de/">http://www.pureenergy-solution.de/de/</a>
151	<a href="http://www.qosit.com/module.html">http://www.qosit.com/module.html</a>
152	<a href="http://www.red-kilowatt.de/index.php?id=26">http://www.red-kilowatt.de/index.php?id=26</a>
153	<a href="http://www.remakeelectric.com/solutions/">http://www.remakeelectric.com/solutions/</a>
154	<a href="http://www.rit-group.com/index.php/m-emmaster">http://www.rit-group.com/index.php/m-emmaster</a>
155	<a href="http://www.rkpro.de/de/kontrol/kontroll.php">http://www.rkpro.de/de/kontrol/kontroll.php</a>
156	<a href="https://www.robotron.de/energiwirtschaft/produkte.html">https://www.robotron.de/energiwirtschaft/produkte.html</a>
157	<a href="http://rsw-technik.de/produkte/analysesoftware/">http://rsw-technik.de/produkte/analysesoftware/</a>
158	<a href="https://www.rwe.de/web/cms/de/2294528/geschaeftskunden/produkte/rwe-energie-monitoring/">https://www.rwe.de/web/cms/de/2294528/geschaeftskunden/produkte/rwe-energie-monitoring/</a>
159	<a href="http://www.sundk.de/portfolio/energiemanagement/">http://www.sundk.de/portfolio/energiemanagement/</a>
160	<a href="http://www.saia-pcd.com/de/energiemanagement/produkte/applikation/">http://www.saia-pcd.com/de/energiemanagement/produkte/applikation/</a>
161	<a href="http://www.sauter-cumulus.de/de/produkte/produktetails/pdm/">http://www.sauter-cumulus.de/de/produkte/produktetails/pdm/</a>
162	<a href="http://www.schneider-electric.us/en/product-range/62033-struxureware-energy-operation/">http://www.schneider-electric.us/en/product-range/62033-struxureware-energy-operation/</a>
163	<a href="http://www.schneider-electric.com/products/de/de/5100-software/5145-energieuberwachung-steuerungssoftware/61280-struxureware-power-monitoring-expert-7/">http://www.schneider-electric.com/products/de/de/5100-software/5145-energieuberwachung-steuerungssoftware/61280-struxureware-power-monitoring-expert-7/</a>
164	<a href="http://www.schneider-electric.com/us/en/download/document/0100BR1531?showAsIframe=true">http://www.schneider-electric.com/us/en/download/document/0100BR1531?showAsIframe=true</a>
165	<a href="http://software.schneider-electric.com/products/wonderware/manufacturing-operations-management/corporate-energy-management/">http://software.schneider-electric.com/products/wonderware/manufacturing-operations-management/corporate-energy-management/</a>
166	<a href="http://www.wwglt.de/">http://www.wwglt.de/</a>
167	<a href="http://www.isys-mes.de/de/startseite.html">http://www.isys-mes.de/de/startseite.html</a>
168	<a href="http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/de/gebaeude-loesungen/bps/strategie-planung/advantage-navigator/seiten/advantage-navigator.aspx">http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/de/gebaeude-loesungen/bps/strategie-planung/advantage-navigator/seiten/advantage-navigator.aspx</a>
169	<a href="http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/de/lv/portfolio/seiten/powermanager-de.aspx">http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/de/lv/portfolio/seiten/powermanager-de.aspx</a>
170	<a href="http://w3.siemens.com/services/global/de/portfolio/plant-data-services/energy-analytics/package-overview/seiten/index.aspx">http://w3.siemens.com/services/global/de/portfolio/plant-data-services/energy-analytics/package-overview/seiten/index.aspx</a>
171	<a href="http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/de/energie-management-sw/">http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/de/energie-management-sw/</a>
172	<a href="http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/de/energie-management-sw/">http://w3.siemens.com/mcms/automation-software/de/energie-management-sw/</a>
173	<a href="http://w3.siemens.com/smartgrid/global/SiteCollectionDocuments/Products_systems_solutions/Control%20Center/ADMS-Webfeature/index.html">http://w3.siemens.com/smartgrid/global/SiteCollectionDocuments/Products_systems_solutions/Control%20Center/ADMS-Webfeature/index.html</a>

Nr.	Internetadresse
174	<a href="http://www.smartens.de/Industrie">http://www.smartens.de/Industrie</a>
175	<a href="http://www.socomec.de/reihe-software-losung_de.html?product=/vertelis-hyperview_de.html">http://www.socomec.de/reihe-software-losung_de.html?product=/vertelis-hyperview_de.html</a>
176	<a href="http://www.solar-data.de/index.php?id=12">http://www.solar-data.de/index.php?id=12</a>
177	<a href="http://www.solvera-lynx.com/products/GemaLogic/de">http://www.solvera-lynx.com/products/GemaLogic/de</a>
178	<a href="http://www.spega.de/energiemanagement/powerbat-highlights/">http://www.spega.de/energiemanagement/powerbat-highlights/</a>
179	<a href="http://www.steinhaus-informationssysteme.de/produkte/tebis.html">http://www.steinhaus-informationssysteme.de/produkte/tebis.html</a>
180	<a href="https://www.stulz.de/de/stulz-services/technisches-gebaeudemanagement/">https://www.stulz.de/de/stulz-services/technisches-gebaeudemanagement/</a>
181	<a href="http://www.suewag.eu/web/cms/de/2324630/suewag-gruppe/kommune/energiesdienstleistung/">http://www.suewag.eu/web/cms/de/2324630/suewag-gruppe/kommune/energiesdienstleistung/</a>
182	<a href="https://www.swk.de/energieeffizienz.html">https://www.swk.de/energieeffizienz.html</a>
183	<a href="http://www.syracos.com/">http://www.syracos.com/</a>
184	<a href="http://www.sys-tec.info/Unternehmen/broschueren/SYS.TEC-Energiereporter-web.pdf">http://www.sys-tec.info/Unternehmen/broschueren/SYS.TEC-Energiereporter-web.pdf</a>
185	<a href="http://www.systech-gmbh.de/msr-software/msr-software.php">http://www.systech-gmbh.de/msr-software/msr-software.php</a>
186	<a href="http://www.tug.at/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=963:software-html-landing&amp;catid=142:uncategorised">http://www.tug.at/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=963:software-html-landing&amp;catid=142:uncategorised</a>
187	<a href="http://www.techem.de/gewerbeimmobilien/energiemanagement/energiemonitoring.html#c1780">http://www.techem.de/gewerbeimmobilien/energiemanagement/energiemonitoring.html#c1780</a>
188	<a href="https://www.tengelmann-energie.de/leistungen/energie-monitoring/">https://www.tengelmann-energie.de/leistungen/energie-monitoring/</a>
189	<a href="http://www.tigev.de/">http://www.tigev.de/</a>
190	<a href="http://www.tis-e.eu/">http://www.tis-e.eu/</a>
191	<a href="https://www.tenag.de/produkte/Energiemanagementsoftware-EnergyWeb/">https://www.tenag.de/produkte/Energiemanagementsoftware-EnergyWeb/</a>
192	<a href="https://www.vattenfall.de/de/energiekosten-senken.htm?WT.ac=search_success">https://www.vattenfall.de/de/energiekosten-senken.htm?WT.ac=search_success</a>
193	<a href="http://www.videc.info/de/produkte/acron-der-anlagenchronist">http://www.videc.info/de/produkte/acron-der-anlagenchronist</a>
194	<a href="http://www.vipa.com/uploads/tx_sbdownloader/2013_03_EK007521_Broschuere_Green_Solution_DEU_web.pdf">http://www.vipa.com/uploads/tx_sbdownloader/2013_03_EK007521_Broschuere_Green_Solution_DEU_web.pdf</a>
195	<a href="http://www.visam.de/branchen-energiemanagement.php">http://www.visam.de/branchen-energiemanagement.php</a>
196	<a href="http://www.voith.com/de/produkte-leistungen/papier/onv-energyprofiler-4211.htm">http://www.voith.com/de/produkte-leistungen/papier/onv-energyprofiler-4211.htm</a>
197	<a href="http://www.vkw.de/vkw-energiecockpit-grosskunden.htm">http://www.vkw.de/vkw-energiecockpit-grosskunden.htm</a>
198	<a href="http://www.webfactory-i4.de/de/energiemanagement/">http://www.webfactory-i4.de/de/energiemanagement/</a>
199	<a href="http://www.webfactory-i4.de/de/energiemanagement/">http://www.webfactory-i4.de/de/energiemanagement/</a>
200	<a href="http://www.weidmueller.de/de/industrien/energie/produktneuheiten-energie-2015">http://www.weidmueller.de/de/industrien/energie/produktneuheiten-energie-2015</a>
201	<a href="http://www.weidmueller.de/de/produkte/elektronik-und-automatisierung/">http://www.weidmueller.de/de/produkte/elektronik-und-automatisierung/</a>
202	<a href="http://www.werusys.de/produkte/synergyvision/">http://www.werusys.de/produkte/synergyvision/</a>
203	<a href="http://www.wgs-energie.de/edmssoftware_17_de.html">http://www.wgs-energie.de/edmssoftware_17_de.html</a>
204	<a href="http://www.wips-com.de/">http://www.wips-com.de/</a>
205	<a href="http://www.wirtec.com/index.php?energiemanagement">http://www.wirtec.com/index.php?energiemanagement</a>
206	<a href="http://www.industrie.wisag.de/industrie/leistungen/">http://www.industrie.wisag.de/industrie/leistungen/</a>
207	<a href="http://www.wurm.de/de/produkte/%C3%BCberwachung-analyse-steuerung">http://www.wurm.de/de/produkte/%C3%BCberwachung-analyse-steuerung</a>
208	<a href="http://emsyst.de/">http://emsyst.de/</a>



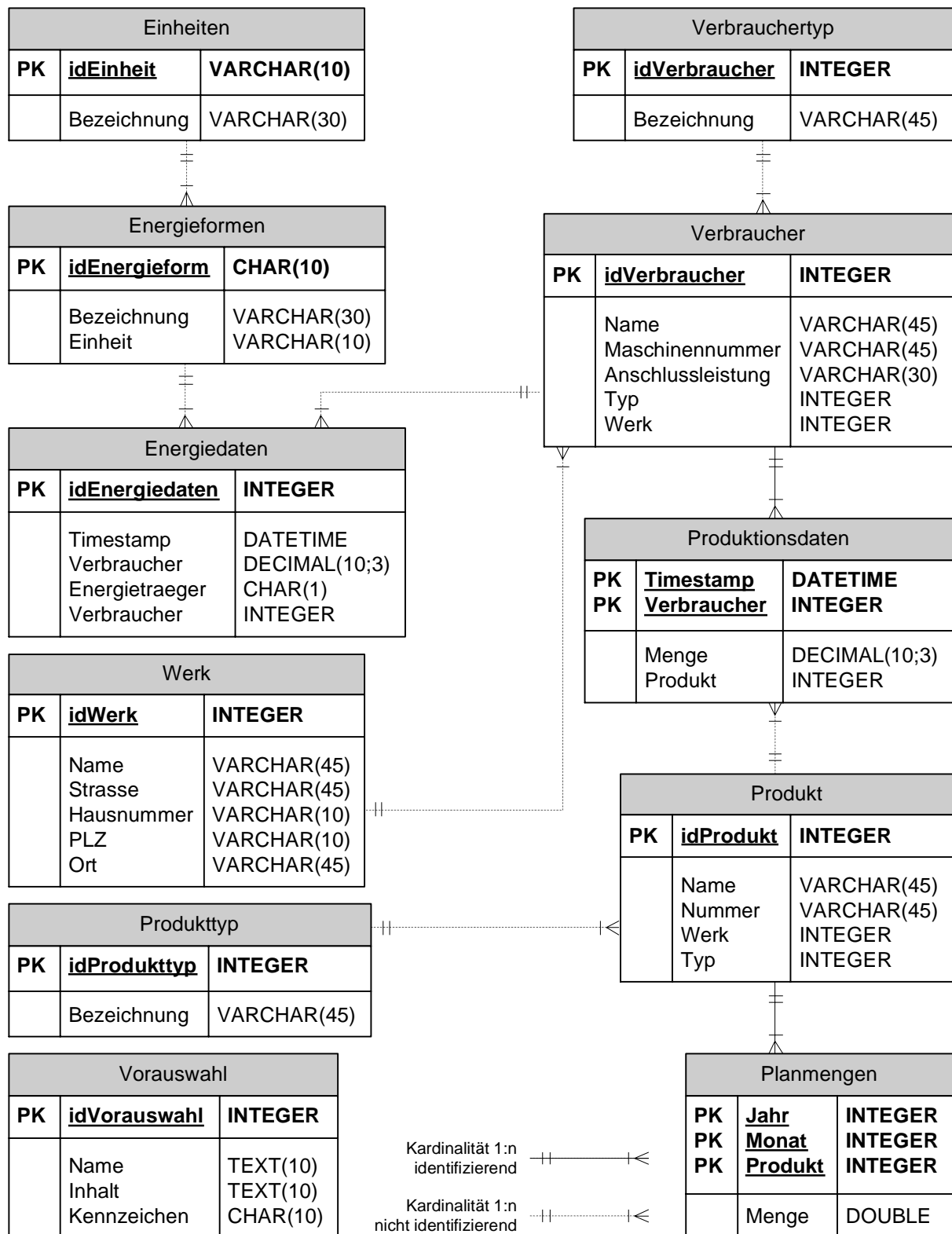


Abbildung 78: Entity-Relationship-Diagramm der Datenbank des Energy-Cockpits

Tabelle 29: Spezifikation der Datenbanktabellen

Tabelle Energiedaten					
idEnergiedaten	Zeitstempel		Verbrauch	Energieart-ID	Verbraucher-ID
10001	2015-04-01 12:15:00		1,6	1	15
Tabelle Energieformen					
idEnergieart		Bezeichnung		Einheit-ID	
1		Elektrischer Strom		kWh	
Tabelle Einheiten					
idEinheit			Bezeichnung		
kWh			Kilowattstunden		
Tabelle Produktionsdaten					
Zeitstempel		Verbraucher-ID	Menge	Produkt-ID	
2015-04-01 12:15:00		15	16	A8420	
Tabelle Produkt					
idProdukt	Name	Stücklistennummer	Produkttyp-ID	Werks-ID	
A8420	Produkt A	147-369	8420	21	
Tabelle Produkttyp					
idProdukttyp			Bezeichnung		
8420			Produktfamilie A		
Tabelle Planmengen					
Jahr	Monat		Menge	Produkt-ID	
2015	3		29.000	A8420	
Tabelle Verbraucher					
idVerbraucher	Name	Maschinennummer	Anschlussleistung	Typ-ID	Werks-ID
15	Presse 1	105-017-15	97 kVA	P	21
Tabelle Verbrauchertyp					
idVerbrauchertyp			Bezeichnung		
P			Pressen		
Tabelle Werk					
idWerk	Name	Straße	Haus-Nr.	Postleitzahl	Ort
21	Werk 1	Mühlweg	3	04103	Leipzig

Falls vorhanden, sind die Primärschlüssel der Relationen durch das Präfix „id“ im Spaltennamen der Tabelle gekennzeichnet. Dieser Primärschlüssel definiert jedes Tupel eindeutig. Die Zusammenhänge der Fremdschlüssel, gekennzeichnet durch das Suffix „ID“, ergeben sich aus der Datenbankstruktur.

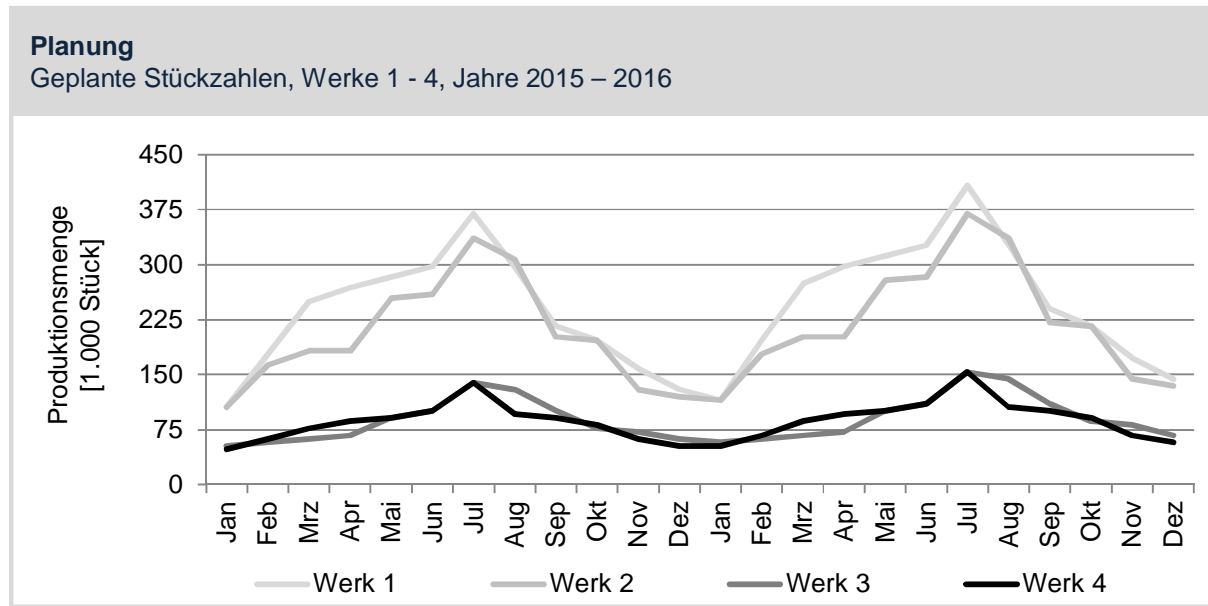


Abbildung 79: Stückzahlenplanung der Werke 1-4 in den Planjahren 2015 bis 2016

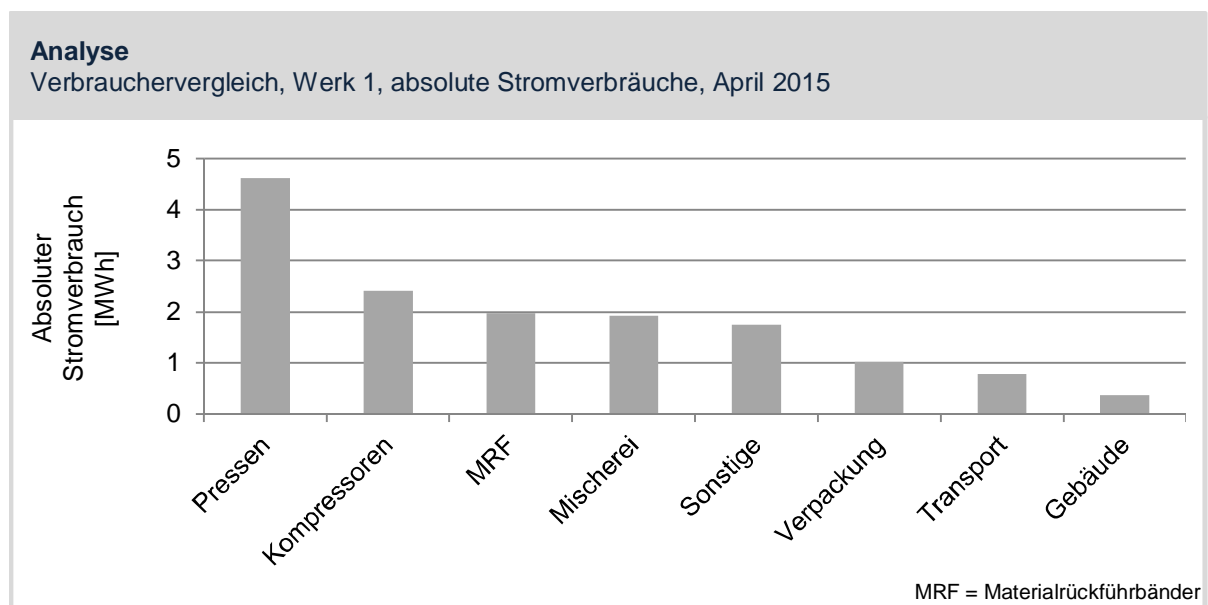


Abbildung 80: Darstellung der Stromverbräuche eines Werks auf Anlagenebene

**Analyse**

Pressenvergleich, Werke 1 – 4, spezifische Stromverbräuche, Jahre 2014 – 2015

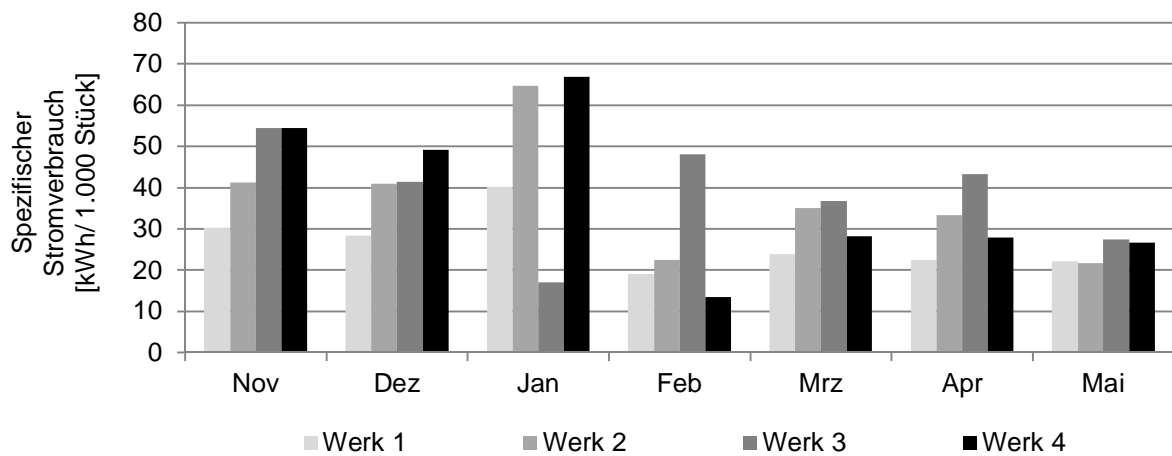


Abbildung 81: Vergleich der spezifischen Pressenstromverbräuche

**Analyse**

Verbrauchervergleich Pressen, Werk 1, absolute Stromverbräuche, Jahre 2014 – 2015

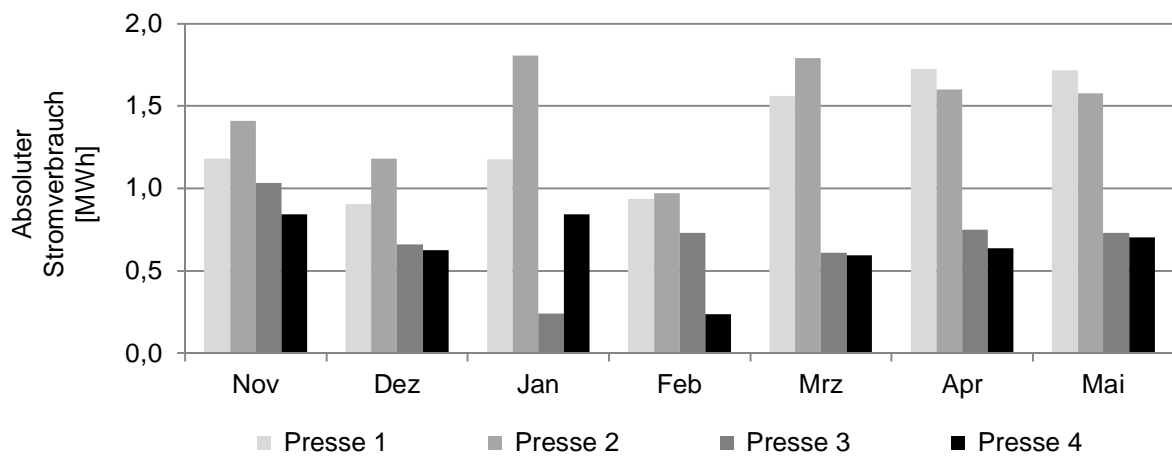


Abbildung 82: Darstellung der Pressenstromverbräuche eines Werks

Reihe Fertigungstechnik Erlangen