

Jorge Marx Gómez  
Corinna Lang  
Volker Wohlgemuth *Hrsg.*

# IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement

Konferenzband zu den 5. BUIS-Tagen

---

# IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement

---

Jorge Marx Gómez · Corinna Lang  
Volker Wohlgemuth

Herausgeber

# IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement

Konferenzband zu den 5. BUIS-Tagen

15. Tagung der Fachgruppe Betriebliche  
Umweltinformationssysteme der  
Gesellschaft für Informatik e.V.

*Herausgeber*

Jorge Marx Gómez  
Department für Informatik  
Abt. Wirtschaftsinformatik I  
Universität Oldenburg  
Oldenburg, Deutschland

Volker Wohlgemuth  
Betriebliche Umweltinformatik  
HTW Berlin  
Berlin, Deutschland

Corinna Lang  
Standort Bernburg  
Hochschule Anhalt  
Bernburg, Deutschland

ISBN 978-3-642-35029-0

ISBN 978-3-642-35030-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-35030-6

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media  
[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

---

## Unterstützer



CEWE COLOR AG & Co. OHG  
Meerweg 30–32  
26133 Oldenburg



The New Desktop IT Trading AG  
Haselriege 13  
26125 Oldenburg



KISTERS AG  
Charlottenburger Allee 5  
52068 Aachen

Dr. h.c. Peter Waskönig  
Eichenstraße 17  
26683 Saterland



OFFIS e.V.  
Escherweg 2  
26121 Oldenburg



AquaEcology GmbH & Co. KG  
Marie-Curie-Straße 1  
26129 Oldenburg



BÜFA GmbH & Co. KG  
Stubbenweg 40  
26125 Oldenburg



ecco ecology + communication  
Unternehmensberatung GmbH  
Auguststraße 88  
26121 Oldenburg



SAP AG  
University Alliances EMEA  
Dietmar-Hopp-Allee 16  
69190 Walldorf



Volkswagen AG  
Brieffach 1575  
38436 Wolfsburg



INPLUS GmbH  
Therese-Giehse-Platz 6  
82110 Germering



CX4U AG  
Theaterwall 10  
26122 Oldenburg



Hellmann Worldwide Logistics GmbH & Co. KG  
Elbestraße 1  
49090 Osnabrück



IMBC GmbH  
Chausseestraße 84  
10115 Berlin



NOWIS Northwest-Informationssysteme GmbH &  
Co. KG  
Mittelkamp 110-118  
26125 Oldenburg



WeSustain GmbH  
Poststraße 19  
21614 Buxtehude



Brille24 Handel GmbH  
Ritterstraße 14–15  
26122 Oldenburg



Verkehr und Wasser GmbH  
Felix-Wankel-Straße 9  
26125 Oldenburg

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Green IT & Energieeffizienz

<b>1 Lastgangbezogene Prioritätsregeln für eine Produktionsplanung bei der Veredelung von Glasprodukten</b> .....	3
Jürgen Sauer, Serge Alexander Runge und Tim Bender	
<b>2 Referenzmodell für eine branchenorientierte Energieeffizienzsoftware für KMU</b> .....	11
Andrea Meyer	
<b>3 Branchenorientierte und IT-gestützte Energieeffizienz und Benchmarking in KMU-Netzwerken</b> .....	21
Iria Álvarez	
<b>4 Kommunikation von Umweltkennzahlen im Smart Grid und deren Integration in die verteilte Wirkleistungsplanung</b> .....	35
Jörg Bremer und Michael Sonnenschein	
<b>5 Green IT im KMU</b> .....	49
Frank Dornheim und Katja Moede	
<b>6 Simulation der Smart Grid Integration eines modernen Bürogebäudes am Beispiel von IBM-Schweiz</b> .....	59
Nikolaus Bornhöft, Lorenz Hilty und Sutharshini Rasathurai	
<b>7 Adaption der Design Structure Matrix Methode für die Komponentenauswahl von IT-Infrastrukturen</b> .....	69
Peter Krüger und Hans-Knud Arndt	
<b>8 Energiemonitoring im IKT-Umfeld Standards und Trends</b> .....	81
Gregor Drenkelfort, Thorsten Pröhl, Koray Erek, Frank Behrendt und Rüdiger Zarnekow	



<b>9</b>	<b>Angewandtes Semantisches Metamodell von Rechenzentren für Green IT</b> .....	93
	Ammar Memari	
<b>10</b>	<b>Erfolgsfaktoren und Herausforderungen bei der Implementierung eines Messkonzeptes zum energie- und kosteneffizienten Lastmanagement in einer Community-Cloud</b> .....	103
	Björn Schödwell, Koray Ereğ and Rüdiger Zarnekow	
<b>11</b>	<b>Managementinstrumente im Energiemanagement als Teil einer Softwarelösung</b> .....	115
	Jessica Sangmeister	
<b>Teil II Stoffstrommanagement</b>		
<b>12</b>	<b>Praxisorientierte Entwicklung einer Ökobilanzierungssoftware für KMU</b> .....	131
	Henning Gössling, Matthias Hausmann, Fabian Renatus, Karsten Uphoff und Jutta Geldermann	
<b>13</b>	<b>Arbeitskreis Stoff- und Energieströme Bremen – Oldenburg: ein Kurzporträt</b> .....	145
	Alexandra Pehlken, Stefan Gössling-Reisemann, Till Zimmermann, Henning Albers, Martin Wittmaier, Jorge Marx Gómez und Marc Allan Redecker	
<b>14</b>	<b>Kollaborative Maßnahmenbestimmung bei Grenzwertüberschreitungen auf Basis Gekoppelter Informationssysteme</b> .....	149
	Heiko Thimm	
<b>15</b>	<b>Nutzung von Umweltzeichen in der IT-Branche Einflussfaktoren aus neoinstitutionalistischer Perspektive</b> .....	159
	Markus Glötzel	
<b>16</b>	<b>Entscheidungsunterstützung für Sustainable Supply Chain Management in der Praxis</b> .....	167
	Daniel Meyerholt und Hilmar Gerdes	
<b>Teil III Green Production &amp; Green Logistics</b>		
<b>17</b>	<b>Entwicklung von strategischen Kennzahlen im Bereich der Produktion</b> ...	183
	Miada Naana und Horst Junker	

<b>18</b>	<b>Nutzung bestehender BPM-Modelle zur Einführung des Green Business Process Managements</b> .....	191
	Klaas Schmidt und Timo von der Dovenmühle	
<b>19</b>	<b>Erweiterung des Produktkonfigurationsprozesses um Aspekte der Nachhaltigkeit Konzeption eines Prototyps für die industrielle Produktion</b> .....	199
	Claudia Erdle, Samuel Mathes, Dominik Morar, Heiner Lasi und Hans-Georg Kemper	
<b>20</b>	<b>Risikoorientierte Prozessmodelle in BPMN – Stand des Wissens und Potenziale</b> .....	209
	Saskia Greiner	
<b>21</b>	<b>Das Informationssystem der Umweltprobenbank des Bundes als Baustein im betrieblichen Umweltmanagementsystem.</b> .....	219
	Thomas Bandholtz und Maria Rüther	
<b>22</b>	<b>Eine Light-Weight Composite Environmental Performance Indicators (LWC-EPI) Lösung – Eine systematische Entwicklung von EMIS, deren Anforderungen und Hindernisse aus Anwender-, Experten, und KMU-Perspektive.</b> .....	229
	Naoum Jamous, Frederik Kramer und Holger Schrödl	
<b>23</b>	<b>BUIS für den produktionsintegrierten Umwelt-schutz – Wunsch oder Wirklichkeit?</b> .....	243
	Horst Junker	
 <b>Teil IV (betriebliche) IS zur Förderung nachhaltiger Mobilität</b>		
<b>24</b>	<b>Informations- und Planungssystem für nachhaltige Mobilität</b> .....	259
	Sven Kölpin	
<b>25</b>	<b>Containerterminalbetriebe als Wegbereiter für Elektromobilität – Herausforderungen für die IKT beim Management batterie-elektrischer Schwerlastverkehre</b> .....	271
	Serge Alexander Runge, Hans-Jürgen Appelrath, Sebastian Busse, Lutz Kolbe, Ralf Bengler und Hans-Peter Beck	
<b>26</b>	<b>Erstellung eines generischen Datenmodells zur Implementierung eines Sustainability CRM</b> .....	283
	Daniel Stamer	

<b>27</b>	<b>Data Mining im Rahmen eines Sustainable Customer Relationship Management zur Optimierung intermodaler Mobilität</b> .....	295
	Marcel Severith, Thees Gieselmann, Benjamin Wagner vom Berg und Jorge Marx Gómez	
<b>Teil V Nachhaltigkeitsmanagement und -kommunikation</b>		
<b>28</b>	<b>Status Quo der Wirtschaftsprüfung von Nachhaltigkeitsberichten</b> .....	309
	Marc Walterbusch, Jan Handzlik und Frank Teuteberg	
<b>29</b>	<b>Ergebnisse einer qualitativen Befragung zur Gestaltung von Nachhaltigkeitsberichten</b> .....	323
	Matthias Gräuler und Frank Teuteberg	
<b>30</b>	<b>Vorüberlegungen zu strategischen Betrieblichen Umweltinformationssystemen</b> .....	335
	Andreas Möller	
<b>31</b>	<b>Nachhaltige Mitarbeiter-Kommunikation innerhalb einer Lieferkette mit CoBox</b> .....	347
	Sabine Hoenicke und Alexander Elsas	
<b>32</b>	<b>Indikatorenentwicklung für skalenübergreifende Transformationsprozesse</b> .....	349
	Nana Karlstetter, Julia Oberdörffer und Ulrich Scheele	
<b>33</b>	<b>Nachhaltigkeitsberichterstattung – Freiwilliger Zwang?</b> .....	361
	Thomas Kaspereit	
<b>34</b>	<b>Nachhaltigkeitsbildung in KMU – Entwicklung innovativer Lehr- und Lerndesigns</b> .....	373
	Meike Cordts und Karsten Uphoff	
<b>35</b>	<b>Analyse der Bewerbungs- und Zulassungsprozesse von Studierenden unter der Beachtung von Nachhaltigkeitsaspekten</b> .....	377
	Torsten Urban, Matthias Mocosch, Sven Gerber, Hans-Knud Arndt und Peter Krüger	
<b>36</b>	<b>Risikowahrnehmung, Beurteilung des Umgangs der Behörden und Beurteilung der unternehmerischen Verantwortung in Bezug auf drei Umweltsituationen</b> .....	389
	Carla Allende, Sebastián Diez, Héctor Macaño und Javier Britch	

---

<b>37 Beitrag betrieblicher Umweltinformatik für die Industrial Ecology – Analyse von BUIS-Software-Werkzeugen zur Unterstützung von Industriesymbiosen</b> .....	397
Ralf Isenmann	
<b>38 Versionierung von Nachhaltigkeitsberichten</b> .....	409
Dilshodbek Kuryazov, Andreas Solsbach und Andreas Winter	
<b>39 Internetbasierte Nachhaltigkeitsberichterstattung im Kontext des Umwelt-, Energie- und Ressourcenmanagements mit BUIS der nächsten Generation</b> .....	421
Andreas Solsbach, Swetlana Lipnitskaya und Sebastian van Vliet	
<b>40 Einsatz von mobilen Applikationen zur Vermarktung von nachhaltigen Dienstleistungen aus dem Energiesektor</b> .....	433
Tim Peters, Dirk Peters und Michaela Ehrnt	
<b>41 Simulation einer Stadt zur Erzeugung virtueller Sensordaten für Smart City Anwendungen</b> .....	441
Marcus Behrendt, Mischa Böhm, Marina Borchers, Mustafa Caylak, Lena Eylert, Robert Friedrichs, Dennis Höting, Kamil Knefel, Timo Lottmann, Andreas Rehfeldt, Jens Runge, Sabrina-Cynthia Schnabel, Stephan Janssen, Daniela Nicklas und Michael Wurst	
 <b>Teil VI Green Software</b>	
<b>42 UmSys</b> .....	449
Lukas Schaaf	
<b>43 Green Big Data – eine Green IT/Green IS Perspektive auf Big Data</b> .....	455
Thomas Hansmann, Burkhardt Funk und Peter Niemeyer	
<b>44 Software-Unterstützung zur Verbesserung der Energieeffizienz in Unternehmen</b> .....	467
Astrid Beckers und Christoph Roenick	
<b>45 Sicherheitsarchitekturen für Geoinformationsdienste am Beispiel „mobiles Makeln“</b> .....	471
Nico Scheithauer, Hermann Strack, Thomas Spangenberg und Hardy Punkt	
<b>46 Entwicklung eines Reifegradmodells für das IT-gestützte Energiemanagement</b> .....	485
Christian Manthey und Thomas Pietsch	

<b>47</b>	<b>Entwicklung eines Open Source basierten Baukastens zur Identifikation von Ressourceneffizienzpotentialen in produzierenden KMU</b> .....	499
	Volker Wohlgemuth, Tobias Ziep, Peter Krehahn und Lars Schiemann	
<b>48</b>	<b>IT-Unterstützung für eine zukunftsorientierte Nachhaltigkeitsstrategie</b> .....	509
	Daniel Süpke und Manfred Heil	
<b>49</b>	<b>Ein Framework für eine unternehmensinterne nachhaltige Entwicklung Am Beispiel von Lieferantenauswahl und Bewertung</b> .....	513
	Andreas Messler und Nils Giesen	
<b>50</b>	<b>PortalU als zentraler Zugangspunkt für behördliche Umweltinformationen in Deutschland</b> .....	519
	Franz Schenk und Fred Kruse	

#### Teil VII Materialeffizienz & Recycling

<b>51</b>	<b>Handlungsbedarf beim Recycling von Rotorblättern aus Windkraftanlagen: Ableitung von Entscheidungsgrundlagen</b> .....	529
	Henning Albers	
<b>52</b>	<b>Strategische und seltene Metalle in E-Schrott – Erschließung des Wertstoffpotenzials durch optimierte Erfassung und Aufbereitung</b> .....	533
	Kerstin Kuchta	
<b>53</b>	<b>Strategische Ressourcen in der Windenergie</b> .....	545
	Alexandra Pehlken und Rosa Garcia Sanchez	

#### Teil VIII Workshop Energy Aware Software-Engineering and Development (EASED@BUIIS)

<b>54</b>	<b>Entwicklung und Klassifikation energiebewusster und energieeffizienter Software</b> .....	557
	Christian Bunse, Stefan Naumann und Andreas Winter	

---

**Teil I**

**Green IT & Energieeffizienz**

---

# Lastgangbezogene Prioritätsregeln für eine Produktionsplanung bei der Veredelung von Glasprodukten

1

Jürgen Sauer, Serge Alexander Runge und Tim Bender

---

## Zusammenfassung

Derzeit steigen die Strompreise auch im Industriekundensegment von Jahr zu Jahr an, weshalb bei den energieintensiven Industriezweigen wie beispielsweise der Glasindustrie der Kostendruck wächst, unter welchem sie in Deutschland wettbewerbsfähig produzieren können. Gleichzeitig nimmt mit dem deutlichen Anziehen der Strompreise bei vielen produzierenden Unternehmen auch der Energiekostenanteil an den Produktionskosten insgesamt zu. Darum gewinnt es an Bedeutung unter Berücksichtigung der typischen Optimierungsziele (wie zum Beispiel Maximierung der Anlagenauslastung, Minimierung der Durchlaufzeiten, etc.) zu einer unter energiewirtschaftlichen Aspekten erweiterten Produktionsplanung für die Weiterverarbeitung und Veredelung von Glasprodukten zu kommen. Dabei soll aus dem Bereich der Wirtschaftsinformatik ein erster Lösungsansatz vorgestellt werden, welcher den Lastgang im Fertigungsbereich auf der Grundlage von Auftragsverarbeitungsdaten implizit vorhersagen lässt und Prioritätsregeln für eine Optimierung der elektrischen Leistungsaufnahme nach Maßgabe verschiedener liefervertraglicher Rahmenbedingungen ergibt. Für ein solches Optimierungskalkül sollen die Denkanstöße aus den Bereichen der Lastbeeinflussung (Demand-Response) und Nachfragebieterverfahren (Demand-Side-Bidding) einbezogen werden. Im Ergebnis der angestrebten algorithmischen Lösung der Ablaufplanung wird neben der

---

J. Sauer · T. Bender  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Deutschland

S. A. Runge (✉)  
Forschungsbereich Energieinformatik, Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN),  
Am Stollen 19A, 38640 Goslar, Deutschland  
e-mail: serge.runge@efzn.de

Lastgangprognose auch eine Kostenauswertung zu erstellen sein, welche unterschiedliche Kostenarten, insbesondere aber auch die eventuellen Liefervertragsstrafen aufschlüsselt.

---

**Schlüsselwörter**

IKT für Smart Grid • Produktionsplanung und –steuerung • Industrielles Lastmanagement • Lastganganalyse • IT for Green • Glasindustrie

---

## 1.1 Planungsentscheidungen mit Berücksichtigung des Lastgangverhaltens

Mit dem Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen und der Integration dezentraler Erzeugungsanlagen vollzieht sich gegenwärtig ein bedeutender Wandel in der Landschaft der Stromerzeugung. Dennoch wird auch heute noch ein Großteil der elektrischen Energie herkömmlich in großangelegten Kraftwerksbetrieben produziert, von der Übertragungsebene in die Verteilungsebene weitergeleitet und von dort die Letztverbraucher beliefert (Wolter und Reuter 2005). Zu den Letztverbrauchern zählen seit jeher Privathaushalte, kleinere und größere Betriebe in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industriebetriebe. Aufgrund ihres Mengengerüsts gibt es insbesondere für große Gewerbebetriebe und Industriebetriebe entsprechende Beratungsansätze und typischerweise auch den Abschluss von Sonderverträgen mit speziellen Tarifen für die Belieferung mit Strom (Müller 2001). Mit dem Abschluss eines Sondervertrages zur Vollversorgung sind energieintensive Industrieunternehmen wie beispielsweise aus der Glasindustrie bestrebt, sich möglichst langfristig gute Konditionen für den Strombezug zu sichern. Zumeist sind dann bei Sondervertragskunden die liefervertraglichen Rahmenbedingungen der Ausgangspunkt für Maßnahmen im Bereich des industriellen Lastmanagements. Über verschiedene Tarifmerkmale wie zum Beispiel eine dynamische Bepreisung kann den jeweiligen Gegebenheiten der Erzeugungslandschaft und den Möglichkeiten für die Kraftwerks- und Speichereinsatzplanung Rechnung getragen werden (Appelrath et al. 2012). Zusätzlich wird in der Regel durch den Stromlieferanten im Rahmen von Lieferprogrammen vermittelt, dass auch bei der Netznutzung den Beschränkungen der Übertragungs- und Verteilungskapazitäten Beachtung zukommt. Letzteres wird im Einzelfall über Rahmenverträge zwischen Stromlieferanten und Netzbetreibern bezüglich der Netznutzung zur Belieferung von Letztverbrauchern motiviert und kann beispielsweise zu Tarifen mit Lastbegrenzung führen.

Bei der Aushandlung von Stromlieferverträgen gewinnt derzeit unter anderem die Festlegung über die Minimal- und Maximalgrenzen der Leistungsaufnahme an Bedeutung. Außerdem ist es aus Lieferanten- wie auch aus Netzbetreibersicht interessant, die Reaktion eines Industriebetriebs auf kurzfristige Tarifierreize einplanen



und sich ein bestimmtes Lastgangverhalten mit Abweichungen in geringem Ausmaß zusichern zu lassen (Nabe et al. 2009). Dieses kann in Bezug auf die elektrische Leistungsaufnahme in energieintensiven Produktionsbetrieben zu Beschränkungen des Anlageneinsatzes führen. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ist es zunächst üblich geworden, zum Beispiel eine Maximallastgrenze unterhalb der sonst üblichen Lastspitzen zu wählen und relativ niedrig vertraglich festzulegen, weshalb zum Beispiel ein Parallelbetrieb bestimmter Produktionsanlagen mit zeitweise sehr hoher Leistungsaufnahme auszuschließen ist. In vielen Unternehmen kann bei Eintreten eines in dieser Hinsicht vertragskritischen Parallelbetriebs derzeit nur ad hoc mit Abschaltungen der Produktionsanlagen und -maschinen reagiert werden. Mit einer solchen leittechnischen Verriegelung werden allerdings die Produktionslinien zeitweise unterbrochen, wodurch dann zumeist bis dato unreflektierte Mehrkosten im Produktionsumfeld entstehen.

Selbst innerhalb einer Branche wie der Glasindustrie kann das Stromverhaltensverhalten einzelner Industriebetriebe sehr unterschiedlich ausfallen. Auch wenn mehrere Industrieendkunden den gleichen Jahresverbrauch aufweisen, kann der typische Lastverlauf stark variieren. Im Bereich der kontinuierlichen Herstellungsprozesse der Glasindustrie wie zum Beispiel dem Schmelzen von Rohstoffgemengen und dem Ausarbeiten des Glases sind in der Regel keine auffälligen Lastschwankungen zu erwarten. Sehr viel eher treten kritische Lastausschläge bei den anschließenden Fertigungsbereichen zu Tage, in welchen beispielsweise das Glas ausgehend von seiner Scheibenform weiter verarbeitet und zu gewünschten Glasprodukten veredelt wird (Umweltbundesamt 2001). Letztlich fällt eine Weiterverarbeitung von Glas mit Zuschnitten und Wölbungen, Vorspannen und Beschichtungen bis hin zu Qualitätsprüfungen ebenfalls wie die vorausgegangenen Schmelzprozesse sehr energieintensiv aus, da es sich bei vielen dieser Fertigungsschritte um Hochtemperaturprozesse handelt.

Dieser Beitrag stellt erste Lösungsansätze vor, bei der Ablaufplanung für den Bereich der Produktveredelung in der Glasindustrie hinsichtlich liefervertraglicher Beschränkungen und Anreize eine Lastgangbewertung zu integrieren. Dabei sollen die operativen und wirtschaftlichen Vorteile von impliziten Lastganganalysen und Lastgangmanagement aufgezeigt werden, um Pönale aus Stromlieferverträgen zu vermeiden und somit die Energiekosten zu senken.

---

## 1.2 Von der herkömmlichen zur energiebezogenen Produktionsplanung

In der Vergangenheit hat es viele Optimierungsansätze für die Ablaufplanung von Produktions- und Logistikprozessen aus den Forschungsgebieten des Operations Research und der Künstlichen Intelligenz gegeben. Für die Begründung wirtschaftlicher Entscheidungen werden im Operations Research zunächst mathematische

Modelle und Strukturen entwickelt, die als Basis für rechnerbasierte Verfahren zur Entscheidungsfindung dienen. Eine Planung und Optimierung von Produktionsprozessen wird in aller Regel in sukzessiv erfolgende Teilaufgaben zerlegt; bei den eher kurzfristigen Planungsaufgaben werden Reihenfolgen für die Bearbeitung von Aufträgen gebildet und es wird eine detaillierte zeitliche Verteilung der Aufträge auf einzelne Verarbeitungsstationen vorgenommen. Das Vorgehen bei der Belegungsplanung richtet sich stark an den zugrundeliegenden Gegebenheiten im Produktionsbereich aus, wodurch Art und Schwierigkeit der zu lösenden Probleme maßgeblich durch die Produktionsform beeinflusst wird (Sauer 2004).

Bei herkömmlichen Problemen der Ablaufplanung werden bezüglich der Maschinen- und Auftrags-Charakteristik lediglich zeitliche Vorgaben gemacht. Entsprechend können bei der Optimierung keine Kosten, sondern nur zeitorientierte Kriterien berücksichtigt werden. Einige Beispiele für Optimierungsziele sind die Minimierung der Durchlaufzeit, Vermeidung einer Terminabweichung, etc. Typischerweise erfolgt eine Zielsetzung in den Industrieunternehmen über einen wie auch immer gewichteten Durchschnittswert dieser Zielgrößen. Es wird dazu eine durchlaufzeitbezogene Optimierung von einer kapazitäts- oder terminorientierten Optimierung unterschieden. Bei der kapazitätsorientierten Optimierung spielt die Auslastung der Produktionsanlagen eine größere Rolle, was zum Beispiel durch entsprechende Gewichtung des Kriteriums Minimierung der Leerlaufzeit erreicht werden kann. Die zeitorientierten Optimierungsziele können als Ersatzziele erhalten, um die Kostengröße zu minimieren. Unter Kostengesichtspunkten finden nun mehr und mehr auch die Energiekosten Einzug in die Produktionsplanung (Böning und Rochow 2012).

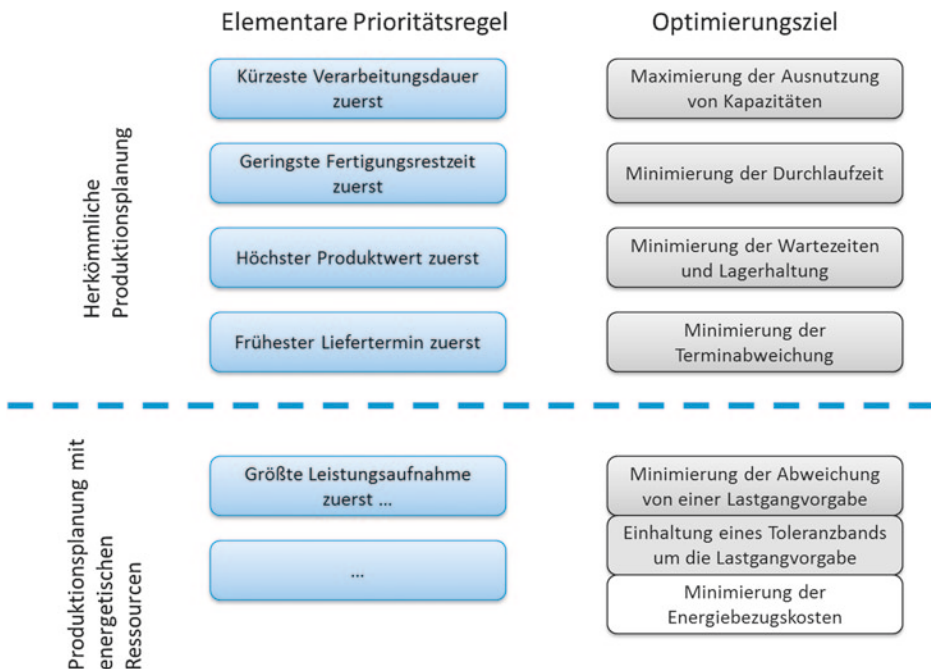
Häufig lässt sich mit Hilfe adäquater Heuristiken der Suchraum für die Planungs- und Optimierungsverfahren drastisch eingrenzen, sodass der Material- und Geräteeinsatz unter Zuordnung von Betriebsmitteln, einschließlich Bedienpersonal, effizient lösbar wird, wenn die einzelnen Verarbeitungsvorgänge bereits operational in der Frage der Betriebsmittelanforderungen und ihrer zeitlichen Ausdehnung bekannt sind. Zur Lösung des Ablaufplanungsproblems werden oft fertigungssystemtechnische Einschränkungen (z. B. Kapazitäten an den Verarbeitungsstationen) als harte Nebenbedingungen und Betriebserfahrungswerte bzw. Auftragspräferenzen als weiche Nebenbedingungen festgelegt. Bei energetischen Ressourcen wird meist angenommen, dass sie prinzipiell unbeschränkt verfügbar sind. Es gibt allerdings auch schon Ablaufplanungsprobleme mit Berücksichtigung von energiebezogenen Beschränkungen für die Zuordnung von Aufträgen an Verarbeitungsstationen (Erschler und Lopez 1990). Eine interessante Spielart ist auch die Produktionsplanung mit stufenweise schaltbaren Aufträgen, bei denen die elektrische Leistungsaufnahme innerhalb einer oberen und unteren Grenze liegen muss (Artigues et al. 2010).

Das wesentliche Ziel der vorgestellten Arbeiten besteht darin, den Bereich der Ablaufplanung über die bisher geläufigen rein material- und zeitbezogenen Optimierungsziele hinaus um zusätzliche lastgangbezogene Optimierungsziele zu erweitern. Dazu bietet es sich an, eine weitere weiche Beschränkung hinsichtlich des

Lastgangverlaufes einzuführen und geeignete Heuristiken zur Konstruktion optimierter Ablaufpläne zu formulieren.

Wie Abb. 1.1 veranschaulicht, könnte dies durch Hinzumischen von Prioritätsregeln zur energiebezogenen Planung passieren, die jeweils mit den Optimierungszielen korrespondieren und sich für eine integrierende Zielstellung gewichten lassen. Eine spannende Forschungsfrage für derartige Lösungen mit Konstruktionsheuristiken ist, ob auf diese Weise verlässlich eine Verbesserung der Ablaufpläne bezüglich der Gesamtbetriebskosten erzielt werden kann. Der Ausblick könnte auch darauf liegen, in welcher Gewichtung die zusätzlichen lastgangbezogenen Prioritätsregeln eingehen sollten oder womöglich die energiewirtschaftlichen Aspekte generell überbetont werden. Denn die herkömmlichen Optimierungsziele verhalten sich in Bezug auf den Einsatz materieller Ressourcen wie auch die Terminierung relativ wohl zueinander, was unter anderem eine additive oder multiplikative Verknüpfung der elementaren Prioritätsregeln zu übergeordneten Konstruktionsheuristiken erlaubt.

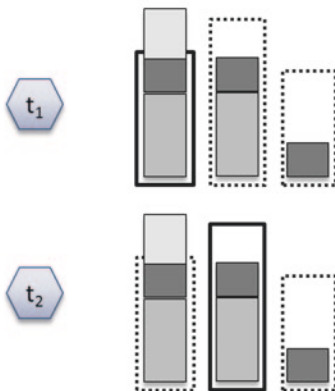
Im Rahmen der Arbeiten soll ein Planungssystem entwickelt werden, das eine Abweichung zur Lastgangvorgabe oder -prognose über mehrere Zeitschritte hinweg feststellen und bewerten lässt. Hierbei soll die elektrische Leistungsaufnahme unterschiedlicher Verarbeitungsstationen differenziert nach Betriebszuständen wie Anfahrbetrieb



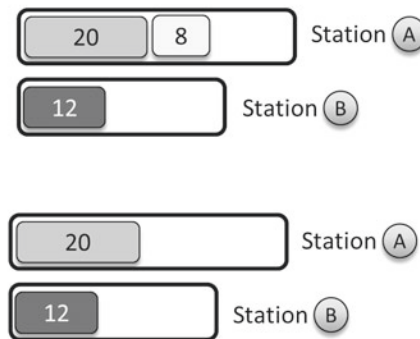
**Abb. 1.1** Überblick zu geläufigen Optimierungszielen und korrespondierenden Prioritätsregeln in der Produktionsplanung

Los Nr.	Größe	Belegzeit	Verarbeitungsstation	Leistungs-aufnahme
1	20	2	A	
2	12	3	B	
3	8	1	A	

#### Weiche Lastgang-Beschränkung



#### Harte Kapazitätsbeschränkung



**Abb. 1.2** Überblick zu möglichen Eingabedaten und der Problemdefinition mit Lastgang-Beschränkungen

sowie Leerlauf- und Vollbetrieb berücksichtigt werden. Die Grundlage für eine Simulation der Lastgänge von Produktionsanlagen und -maschinen im zeitlichen Verlauf soll ein möglichst detailliertes Fertigungslinienmodell bilden, welches wie in Abb. 1.2 skizziert mit Auftragsverarbeitungsdaten angefüllt werden kann.

## Literatur

- Appelrath HJ, Kagermann H, Mayer C (2012) Future Energy Grid Migrationspfade ins Internet der Energie. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Material\\_fuer\\_Sonderseiten/E-Energy/acatech\\_STUDIE\\_Future-Energy-Grid\\_WEB.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/E-Energy/acatech_STUDIE_Future-Energy-Grid_WEB.pdf)
- Artigues C, Lopez P, Haït A (2010) The energy scheduling problem: industrial case-study and constraint propagation techniques. *Int J Prod Econ*. doi:10.1016/j.ijpe.2010.09.030
- Böning C, Rochow P (2012) Sparen nach Plan: Energieorientierte Fabrik- und Belegungsplanung. Energieorientierte Fabrik- und Belegungsplanung. In: phi – Produktionstechnik Hannover informiert, PZH-Verlag, 13. Jg, H 2, S 4–5

- Erschler J, Lopez P (1990) Energy-based approach for task scheduling under time and resources constraints. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Project Management and Scheduling, Compiègne, 20–22 Juni 1990
- Müller L (2001) Handbuch der Elektrizitätswirtschaft: Technische, wirtschaftliche und rechtliche Grundlagen, 2. Aufl. Springer, Berlin
- Nabe C, Beyer C, Brodersen N, Schäffler H, Adam D, Heinemann C, Tush T, Eder J, de Wyl C, vom Wege JH, Mühe S (2009) Einführung von lastvariablen und zeitvariablen Tarifen. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/153298/publicationFile/6483/EcosysLastvariableZeitvariableTarife19042010pdf.pdf>
- Sauer J (2004) Intelligente Ablaufplanung in lokalen und verteilten Anwendungsszenarien. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- Umweltbundesamt (2001) Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) – Merkblatt über beste verfügbare Techniken in der Glasindustrie, Berlin. <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/sevilla/kurzue.htm>
- Wolter D, Reuter E (2005) Preis- und Handelskonzepte in der Stromwirtschaft: Von den Anfängen der Elektrizitätswirtschaft zur Einrichtung einer Strombörse. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden

---

# Referenzmodell für eine branchenorientierte Energieeffizienzsoftware für KMU

# 2

Andrea Meyer

---

## Zusammenfassung

Die Umsetzung von Maßnahmen für die Energieeffizienz ist gerade in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) keine leichte Aufgabe. Jenseits des aktuellen Tagesgeschäfts, besitzen KMU selten die personellen und auch nicht die benötigten finanziellen Mittel, um Energieeffizienzmaßnahmen strukturiert und zielführend umzusetzen. Mit einem Anteil von über 99,6 % aller Unternehmen (IfM 2012) sind sie aber wichtige Träger der Wirtschaft in Deutschland. Was diese KMU benötigen, sind Werkzeuge, um diese umfangreiche Aufgabe neben dem Tagesgeschäft zu bewältigen. Standardsoftware kann eine Lösung sein, jedoch sollte bei deren Entwicklung darauf geachtet werden, dass diese eine hohe Affinität zu den relevanten Unternehmensanforderungen hat. Branchenorientierte Software stellt einen Bezug zu der jeweiligen Umgebung her und eignet sich für diese Problemstellung, da die Schnittmengen innerhalb einer Branche am größten sind. Durch die Ermittlung dieser Anforderungen und eine enge Zusammenarbeit mit den Unternehmen kann ein Produkt mit hoher Praxisrelevanz entwickelt werden. Im Projekt ReMo Green sollen in branchenspezifischen Energieeffizienznetzwerken die Anforderungen an eine Software für die Energieeffizienz ermittelt, in ein Referenzmodell übertragen und schließlich eine Software entwickelt werden, die allen KMU dieser Branche zur Verfügung gestellt wird.

---

## Schlüsselwörter

Referenzmodellierung • KMU • Energieeffizienz • Branchenorientiert • Anforderungsanalyse

---

A. Meyer (✉)  
IMBC GmbH, Chausseestraße 84, 10115 Berlin, Deutschland  
e-mail: andrea.meyer@imbc.de

## 2.1 Notwendigkeit der Energieeffizienz für KMU

Bedingt durch fortschreitende Verknappung von Rohstoffen sowie durch den vermehrten Einsatz von derzeit noch teurerem Strom aus regenerativen Quellen sind Energieeffizienzmaßnahmen für Unternehmen, insbesondere für KMU, wichtiger denn je. Rund 13 % der Gesamtkosten in verarbeitenden Unternehmen sind Energiekosten (Prognos 2010, S.17). Energieeffizienz kann somit in Unternehmen mit energieintensiven Prozessen sehr schnell zu einer existenzbedrohenden Frage werden.

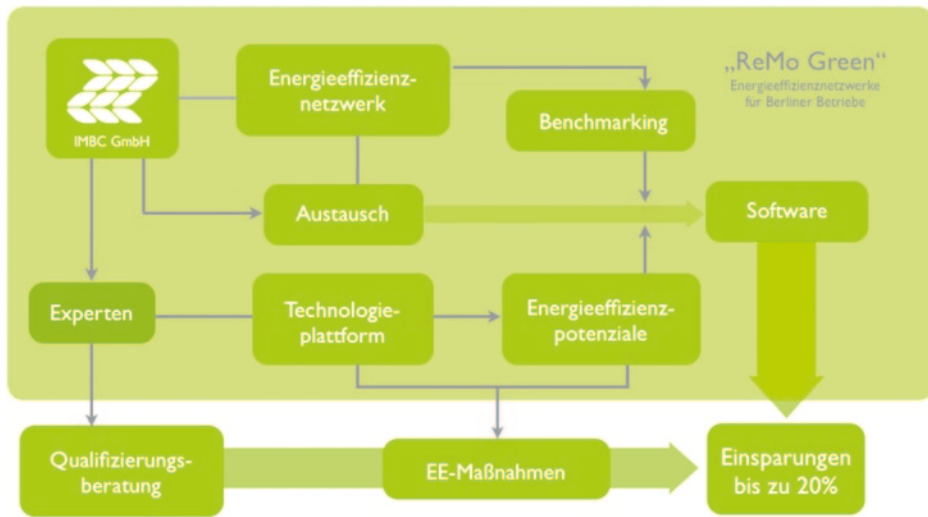
Neben der Optimierung von Personalkosten und Materialeinsatz ist Energie ein dritter relevanter Kostenfaktor in Unternehmen, zumal ihr Anteil an den Betriebskosten mit den aktuellen Entwicklungen auf dem Energiemarkt ständig steigt. Diesen Kostendruck gilt es abzufedern und auszugleichen. Deshalb ist eine stärkere Auseinandersetzung mit dem Thema Energieeffizienz und deren Integration in den betrieblichen Alltag unabdingbar. So kann es auch gelingen, negative Umweltauswirkungen erheblich zu verringern, sodass neben der Einsparung von Kosten ein wertvoller Beitrag für den Umweltschutz geleistet wird.

---

## 2.2 Das Projekt „ReMo Green – Energieeffizienz für Berliner KMU“

Kleine und mittelständische Unternehmen in Deutschland beschäftigen meist weniger als 20 Mitarbeiter (Prognos et al. 2010, S.13). Damit fehlt es zunächst an personellen Ressourcen aber auch an finanziellen Mitteln, um einen wichtigen, bisher deutlich vernachlässigten Bereich zu fördern. Energieeffizienz gehörte bislang nicht zu den Kernkompetenzen in KMU, zumal das Tagesgeschäft dominiert und alle Ressourcen im Unternehmen vereinnahmt. Erfahrungen mit KMU zeigen, dass dort selten detaillierte Kenntnisse über die Energieverbräuche vorliegen. Das liegt einerseits an dem vermeintlich nachgeordneten Stellenwert der Energieeffizienz aber auch an fehlender Kompetenz und fehlenden (Software-)Werkzeugen, um notwendige Daten zu sammeln und zu analysieren. Weiterhin fehlt den Unternehmen eine fundierte (Daten-)Basis, anhand derer Maßnahmen für die Energieeffizienz ab- und eingeleitet werden können, obwohl abhängig von der Ausgangssituation in den Unternehmen, dem Zustand der vorhandenen Anlagen und den Produktionsbedingungen 25 % der Gesamtenergiekosten, durch Energieeffizienzmaßnahmen eingespart werden können (Prognos 2006, S. 94).

Das Projekt „ReMo Green“ greift diese Mängel bezüglich Energieeffizienzmaßnahmen in KMU auf. In sogenannten Energieeffizienznetzwerken wird mit den Unternehmen gemeinsam daran gearbeitet, die Energiesituation dort zu verbessern, ein Bewusstsein für die Energieeffizienz zu schaffen und die Anforderungen an eine Energieeffizienzsoftware zu ermitteln und umzusetzen. Der Aufbau dieser Netzwerke erfolgt branchenorientiert. Grund dafür ist die Tatsache, dass sich innerhalb einer Branche aufgrund ähnlicher Fertigungsstrukturen die umfassendsten Schnittmengen für



**Abb. 2.1** Projektablauf ReMo Green (Quelle Eigene Darstellung)

die Ermittlung von Einsparpotenzialen finden lassen, da dort die Produkte, Anlagen und Prozesse miteinander vergleichbar sind.

Die Abb. 2.1 stellt den Ablauf und die Zusammenhänge innerhalb des Projekts dar. Ausgehend von dem Netzwerkitiator wird das Energieeffizienznetzwerk etabliert und moderiert und so ein Informations- und Erfahrungsaustausch innerhalb dieses Netzwerks bestehend aus Unternehmen und Experten angeregt. Regelmäßige Treffen der Netzwerkunternehmen zu aktuellen Themen der Energieeffizienz motivieren die Kooperationspartner und informieren über für sie wichtige Themen.

Die im Netzwerk festgelegten und in der Abb. 2.1 dargestellten Aufgaben unterstützen direkt den Entwicklungsprozess des Referenzmodells und deren Umsetzung in einer Energieeffizienzsoftware. Eine Technologieplattform für die Energieeffizienz, welche Managementwerkzeuge für den Energiebereich eines Unternehmens bereithält, bildet die Basis für die Ermittlung und Ausschöpfung von Energieeffizienzpotenzialen in den Unternehmen und somit auch für die Definition der Kernanforderungen an die Energieeffizienzsoftware.

Die Durchführung eines Energieeffizienzbenchmarkings in dem Netzwerk führt einerseits dazu, dass die Unternehmen durch Gegenüberstellung der eigenen Energiesituation (Energieverbräuche, Energieerzeugung, Energiekosten) mit „klassenbesten“ Unternehmen die Möglichkeit haben, relevante Maßnahmen für die Erhöhung der Energieeffizienz zu adaptieren, andererseits werden dadurch grundlegende Informationen für das zu entstehende Referenzmodell gesammelt.

Viele Softwareprojekte haben gezeigt, dass neben der Kenntnis der einzelnen Werkzeuge für die Energieeffizienz auch die technische und produktionsbezogene



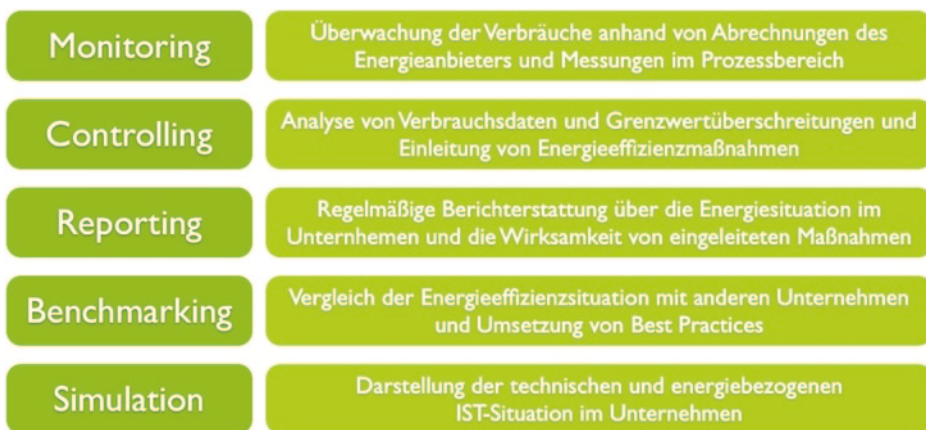
Ausgangssituation innerhalb der Unternehmen und der Branche von Bedeutung ist, um eine noch höhere Anwendungsrelevanz einer Energieeffizienzsoftware zu erreichen. Dazu sind zunächst alle technischen Daten, wie die des Maschinenparks und der technischen Ausrüstung zu erfassen. Weiterhin sind Energieeingangsrechnungen sowie die Darstellung von Lastgängen von Bedeutung.

Für den Einsatz einer neuen Software in einem bislang noch weitgehend vernachlässigten Bereich sollten die einzelnen Anforderungen in enger Zusammenarbeit mit den potenziellen Benutzern zusammengetragen und abgestimmt werden. Für diese Anforderungsanalyse wurde ein semi-strukturierter Interview-Leitfaden entwickelt, mit Hilfe dessen die Unternehmen die gewünschten Anforderungen an die Software formulieren konnten. Untersuchungen belegen, dass mit dieser Methode Teilnehmer und Befragende eine hohe Zufriedenheit zeigen, da sie als strukturiert, nachvollziehbar und praktisch in der Anwendung eingeschätzt wird (Weßel 2010).

### 2.3 Kernanforderungen der Energieeffizienzsoftware

Zur Unterstützung der Befragungsaktion sind Szenarien erarbeitet worden, die die Notwendigkeit von Energieeffizienzmaßnahmen und der Praxisrelevanz darstellen. Diese Szenarien wurden bei den Befragungen eingesetzt, um den Interviewpartnern einen leichteren Einstieg in das Gesprächsumfeld zu ermöglichen. Diese Szenarien stützen sich auf zuvor ermittelte Kernanforderungen an Energieeffizienzmaßnahmen (vgl. in Abb. 2.2). Diese Kernanforderungen erschließen sich aus langjähriger Erfahrung in der Arbeit in diesem Bereich, sind also ein induktiv-empirisches Grundgerüst.

Erste Begehungen in den Unternehmen haben gezeigt, dass nur äußerst lückenhafte Informationen über die Energieverbräuche erhoben und vorgehalten werden. Die



**Abb. 2.2** Fünf Kernanforderungen für die Energieeffizienz (Quelle Eigene Abbildung)

Abrechnung des Energieversorgers ist meist die einzige Referenz auf etwaige Verbräuche. Eine Überprüfung dieser Abrechnungen oder ein Vergleich mit vergangenen Abrechnungszeiträumen findet nicht statt. Aus diesem Grund gibt es keine detaillierten Kenntnisse, wie Verbräuche zustande kommen und wie diese reduziert werden können. Deshalb ist es geboten, in den Unternehmen ein Energiemonitoring zu implementieren, um alle Verbrauchswerte zu erfassen und darstellen zu können. Allein die Transparenz dieser Daten kann zu einer daraus oft resultierenden Anpassung des Nutzerverhaltens führen, die Energiekosten einspart ohne eine konkrete technische Maßnahme für die Steigerung der Energieeffizienz ergriffen zu haben. Zu beachten bleibt allerdings der Umfang und die Art der aufzunehmenden Daten. Zuvor vorliegende Daten müssen durch kontinuierliche Messungen an Anlagen und Maschinen ergänzt werden, sodass eine mobile Messtechnik erforderlich wird. Diese Messungen zeigen die Lastenverteilung an und geben so ein zeitnahes Abbild der Verbräuche im Unternehmen, sodass die Verantwortlichen unmittelbar in der Lage sind Maßnahmen vorzunehmen, die beispielsweise die Lastenverteilung positiv beeinflussen (bspw. Optimierung von Maschinenroutinen). Maßnahmen dieser Art sind von einem besonderen Gewicht, da viele Stromanbieter erst ab einer bestimmten Verbrauchsgröße diese Daten für den Verbraucher zur Verfügung stellen, diese aber durch KMU nur selten erreicht wird. Hinzu kommt, dass diese Lastgänge der Energieversorger nicht zeitnah abrufbar und erst mit erheblicher Verzögerung verfügbar sind, sodass die Lastspitzen und deren Entstehung nur noch schwer nachvollziehbar sind. Im worst case führen diese Lastspitzen zur nächsthöheren Abrechnungsstufe des Energieversorgers und ziehen somit höhere Kosten für die Energiebereitstellung nach sich.

Die Befragung der Unternehmen ließ deutlich werden, wie Kennzahlen strukturiert ermittelt und ausgewertet werden. Eine Software für die Unterstützung der Energieeffizienzsteigerung sollte also in der Lage sein, Hinweise oder Empfehlungen für geeignete Maßnahmen im Unternehmen vorzuschlagen. Eine solche Software verhindert ein willkürliches Durchführen von Einzelmaßnahmen und stellt sicher, dass zielführend auf ein ganzheitliches Energiemanagement zugesteuert werden kann und ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess motiviert wird. Diese Form des Controllings lässt eine höhere Motivation der Teilnehmer erwarten.

Die wichtigste, sich aus der Befragung der Netzwerkunternehmen ergebende Forderung an die Software ist die einer (automatisierten) Bereitstellung von (ad hoc) Reports und Berichten. Damit soll das Ziel einer umfassenden Transparenz gefördert werden. Hier werden sowohl die (Verbrauchs-)Daten aus dem Monitoring zusammengefasst sowie die Effekte der Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz dokumentiert. Damit ist die Möglichkeit verbunden Vergleiche zu vergangenen Berichtszeiträumen anzustellen, intern über die Erfolge von Energieeffizienzmaßnahmen zu informieren und eigene Mitarbeiter zu motivieren. Nicht selten sind auch Dritte an diesen Daten interessiert. Beispielsweise haben Berufsverbände, Innungen oder Statistische Landesämter bereits energiebezogene Daten bei den Unternehmen erhoben. Diese Daten könnten ebenfalls durch das zu erstellende Softwaresystem zur Verfügung gestellt werden.

Eine weitere Anforderung an eine Energieeffizienzsoftware ist eine IT-technische Unterstützung, um branchenbezogene Kennzahlen mit Hilfe eines Benchmarkings zu generieren, die es den Netzwerkunternehmen ermöglicht, ihre Energieeffizienzleistungen mit denen anderer Unternehmen bzw. des Branchendurchschnitts zu vergleichen. Gefordert wird, dass dieses Benchmarking möglichst über einfache Unternehmensvergleiche mit Hilfe von Kennzahlen hinaus gehen soll. Hier sollen durch konsequente und zielorientierte Suche neue Methoden und Verfahren zur Adaptierung und Implementierung von Energieeffizienzmaßnahmen ermittelt werden. Damit können Kostensenkungen in vielen Unternehmensbereichen erzielt werden und Produkte mit sensitiven Eigenschaften in ihrer Qualität gesteigert werden.

Eine notwendige Voraussetzung zur Erfüllung der bisher genannten Anforderungen und damit eine grundlegende Funktion der zu entwickelnden Software ist die Erfassung der Einzelverbräuche im Maschinenpark der Unternehmen. Häufig liegen dazu keine Angaben vor. Konkrete Messungen an den Anlagen werden aus Zeit- und Kostengründen sowie aus Mangel an Personal nicht durchgeführt. Um dennoch zu nachvollziehbaren Vorschlägen für Energieeffizienzmaßnahmen zu gelangen, ist die Simulation der Energieverbräuche im gesamten Anlagenpark notwendig. Diese soll durch IT-gestützt durchgeführt und durch Änderungen im Anlagenregister der Stammdaten für die Benutzer individuell anpassbar sein.

Die genannten Kernanforderungen beschreiben den Rahmen einer möglichen Energieeffizienzsoftware für KMU. Sie bilden die Grundlage des Referenzmodells für eine branchenbasierte Energieeffizienzsoftware. Im Ergebnis soll diese Software die Unternehmen dabei unterstützen, Verbräuche detailliert und zeitnah zu erfassen und Potenziale zur Einsparung zu erkennen, um entsprechende zielgerichtete Maßnahmen einzuleiten und anschließend den Erfolg dieser Maßnahmen zu bewerten.

---

## 2.4 Standardisierung der Anforderungen

Die in den Interviews ermittelten Individualanforderungen an eine Energieeffizienzsoftware müssen in einem zweiten Schritt in der Weise verallgemeinert werden, dass sie für alle KMU derselben Branche gelten können. Hierzu bietet sich das Verfahren der Referenzmodellierung an. Referenzmodelle können im Grundsatz mit der Klassenbildung der objektorientierten Programmierung verglichen werden. Sie sind idealtypische Muster für zu implementierende Sachverhalte und beschreiben die vorherrschenden Strukturen, Funktionen und Abläufe innerhalb eines Sachverhalts. Sie lassen sich so für Standardisierung der Aufgaben zur Steigerung der Energieeffizienz innerhalb einer Branche einsetzen. Grundlage für diesen Prozess ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Kennzahlensystems für den Energiebereich, das die Unternehmenssituation, die zu behandelnden Einzelgrößen und eine zuvor entwickelte Zielstruktur, die sich aus den fünf Kernanforderungen ergibt, abbildet.

Die relevanten Kennzahlen für das Energie-Controlling und die jeweiligen Energieeffizienzziele lassen sich aus den Unternehmensbefragungen ableiten. Die möglicherweise

geringe Zahl der teilnehmenden Unternehmen (fünfzehn) relativiert sich dadurch, dass sie einen repräsentativen Querschnitt im KMU-Bereich der Branche darstellen. Dies kann beispielsweise an der Unternehmensgröße der teilnehmenden Unternehmen verdeutlicht werden. Neben Unternehmen, die mit ca. 180 Mitarbeitern zu den größeren KMU zählen, haben auch Unternehmen mit fünf oder weniger Mitarbeitern teilgenommen. Das „Mittelfeld“ war vergleichsweise stark ausgeprägt. So ist sichergestellt, dass die Unterschiede in der Unternehmensgröße, welche das wichtigste Differenzierungsmerkmal in dieser Branche darstellt, mit hinreichender Genauigkeit berücksichtigt werden. Die Produktpalette als zweiter Einflussfaktor ist bei diesem Unternehmensquerschnitt weitgehend homogen.

Die in den Untersuchungen ermittelten Kennzahlen wurden in weiteren Gesprächsrunden in den Unternehmen zur Diskussion gestellt und weiter ausformuliert. In diesen Befragungen wurden zusätzlich zahlreiche individuelle Spezialanforderungen erfasst, die im Verlauf des Standardisierungsprozesses hinsichtlich ihrer Relevanz geordnet werden mussten. Für den Prozess der Referenzmodellierung bedeutet das, dass Anforderungen mit geringerer Gewichtung im Auswahlprozess vernachlässigt werden. Beispielsweise ist die Anforderung einer automatisierten Berichterstattung an Dritte (z. B. das Statistische Landesamt) nur von einem der fünfzehn Unternehmen genannt worden. Diese Anforderung gilt somit als vernachlässigbar und wird im weiteren Prozess der Anforderungsanalyse nicht berücksichtigt. Völlig ausgeschlossen bleiben Anforderungen, die den Rahmen des Funktionsbereichs einer Software zur Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen übersteigen (bspw. Carbon Footprint von Produkten). Wie oft in diesem Zusammenhang beschrieben (Dyckhoff et al. 2011), konnte auch hier kein perfektes d. h. alle Anforderungen vollumfänglich erfüllendes Zielsystem erreicht werden, was im Sinne der Referenzmodellierung auch nicht wünschenswert ist.

---

## 2.5 Vorteile dieser Vorgehensweise

Durch die Entwicklung einer branchenorientierten Software kann sichergestellt werden, dass die implementierten Funktionen besser an die unternehmerische Wirklichkeit angepasst werden als bei branchenunabhängiger Standardsoftware. In ihrer Herstellung bleibt sie günstiger als beispielsweise Individualsoftware und ist kurzfristiger verfügbar. Für den Anwender ergibt sich der Vorteil, dass in einer anspruchsvollen branchenorientierten Softwarelösung faktisch das Know-how einer gesamten Branche „mitgeliefert“ wird. Weiterhin kann durch die Entwicklung eines Referenzmodells für eine Standardsoftware im Energieeffizienzbereich von Unternehmen ein Erfahrungswissen aufgebaut werden, das auf verschiedene Branchen adaptierbar ist. Durch die hier eingeschlagene Vorgehensweise der Entwicklung von Szenarien und der Ermittlung von Basisanforderungen an die Energieeffizienz, sind Ergebnisse erarbeitet worden, die auch für viele KMU in anderen Branchen relevant sind und somit die Entwicklung von Energieeffizienzsoftware in weiteren Branchen wesentlich erleichtert.

---

## 2.6 Ausblick

Die betriebliche Umweltinformatik ist seit langem gefordert die Zusammenarbeit mit der Praxis zu intensivieren. Dies gilt insbesondere in Bezug auf KMU, die den weitaus größten Teil der deutschen Wirtschaft darstellen. Die Entwicklung und Bereitstellung von Softwareprodukten der Betrieblichen Umweltinformatik für Unternehmen dieser Größe ist in der Vergangenheit aus vielerlei Gründen vernachlässigt worden. Die hier erarbeitete Vorgehensweise hat ein Referenzmodell für die branchenorientierte Energieeffizienz zum Ergebnis. Damit ist eine Grundlage gegeben, Energieeffizienzsoftware für unterschiedliche Branchen mit einem vergleichsweise geringen Aufwand bereitstellen zu können, da sich durch die Festlegung der fünf Kernanforderungen für kleine und mittelständische Unternehmen, dieses Modell auf andere Branchen leicht adaptieren lässt.

---

## 2.7 Zusammenfassung

Es werden die Vorteile der Entwicklung einer branchenbezogenen Energieeffizienzsoftware mit Hilfe der Referenzmodellierung und deren Umsetzung im Projekt „ReMo Green – Energieeffizienz für Berliner KMU“ beschrieben. Die Energieeffizienz ist neben der Effizienz des Personal- und Materialeinsatzes die dritte wichtige Kostenkategorie in KMU. KMU sind die tragende Säule der deutschen Wirtschaft. Allerdings sind ihre zeitlichen, finanziellen und personellen Kapazitäten – insbesondere im Vergleich zu Großunternehmen – erheblich eingeschränkt. Deshalb benötigen diese Unternehmen Hilfestellung bei der Realisierung adäquater Energieeffizienzmaßnahmen. Jenseits von Informationen und Beratung muss ihnen aber auch ein leistungsfähiges, aber einfach zu bedienendes Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, mit Hilfe dessen KMU ihren Energieumsatz optimieren können. Die Bereitstellung einer solchen Software hat branchenabhängig zu erfolgen, um möglichst umfassende Schnittmengen abdecken zu können.

Empirische Erhebungen haben ergeben, dass Energieeffizienz mit fünf Kernanforderungen beschrieben werden kann: Monitoring, Controlling, Reporting, Benchmarking und Simulation. Diese Kernanforderungen werden durch Referenzmodellierung verallgemeinert, sodass im Ergebnis ein Standardsoftwaresystem zur Verfügung steht, das allen relevanten Individualanforderungen von KMU einer Branche Rechnung trägt.

**Danksagung** Das Projekt ReMo Green und die daraus entstandenen Erkenntnisse wurden im Rahmen des EFRE (Europäischer Fond für regionale Entwicklung) gefördert. Die Autorin bedankt sich bei der Senatsverwaltung Berlin und dem EFRE für die Unterstützung.

---

## Literatur

Dykhoff H, Souren R, Elyas A (2011) Betriebstypenspezifische Referenzdatenmodelle strategischer Kennzahlensysteme der Entsorgungswirtschaft: Eine neue Entwicklungsmethodik für Branchenlösungen. *Wirtschaftsinformatik* 53(2):63–73

- IfM Bonn (2012) Kennzahlen zum Mittelstand 2010/2012 in Deutschland. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. <http://www.ifm-bonn.org/index.php?id=99>. Zugegriffen: 20. Feb 2013
- Prognos AG, Seefeldt F, Wünsch M, Michelsen C, Baumgartner W et al (2006) Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen, S 94. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/studie-prognos-energieeinsparung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>. Zugegriffen: 20. Feb 2013
- Prognos AG, Thamling N, Seefeldt F, Glöckner U (2010) Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU: Endbericht. [http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos\\_Rolle\\_und\\_Bedeutung\\_von\\_Energieeffizienz\\_und\\_Energiedienstleistungen\\_in\\_KMU.pdf](http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos_Rolle_und_Bedeutung_von_Energieeffizienz_und_Energiedienstleistungen_in_KMU.pdf). Zugegriffen: 20. Feb 2013
- Weßel C (2010) Semi-strukturierte Interviews im Software-Engineering – Indikationsstellung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung – Ein Fall-basiertes Tutorium. In: Fähnrich K, Franczyk B (Hrsg) Informatik 2010. Beiträge der 40. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V., Band 2, Leipzig, Deutschland, 27 September–1 Oktober 2010, S 927–937

---

# Branchenorientierte und IT-gestützte Energieeffizienz und Benchmarking in KMU-Netzwerken

# 3

Iria Álvarez

---

## Zusammenfassung

Heutzutage sind KMU angehalten, eine Reihe von Anforderungen zu erfüllen, sowohl um ihre eigene wirtschaftliche Sicherheit aufgrund ständig steigender Energiepreise zu gewährleisten, als auch um einen Beitrag zum Umweltschutz leisten zu können. Ihnen ist derzeit noch nicht bewusst, inwiefern IT-Technologie für die erfolgreiche Bewältigung dieser Aufgaben hilfreich sein kann. Um das Bewusstsein zu steigern sind Energieeffizienznetzwerke ein geeigneter Ausgangspunkt. Die Zusammenarbeit mit branchengleichen Unternehmen sowie Know-How-Trägern wie fachspezifischen Instituten kann eine schnellere Entwicklung und einen schnelleren Einsatz geeigneter IT-Lösungen für die Verbesserung der Energieeffizienz und die Umsetzung eines Energiemanagementsystems fördern. Das Projekt „ReMo Green-Energieeffizienz für Berliner Betriebe“ unterstützt Berliner KMU bei der Erreichung ihrer Energieeffizienzziele. Im Rahmen der Kooperation in Energieeffizienznetzwerken, werden ein Referenzmodell für Energiemanagementwerkzeuge bzw. eine Referenzstandardsoftware für Energieeffizienz entwickelt. Das im Projekt vorgesehene Energie-Benchmarking spielt bei dem Energieeffizienzlernprozess im Unternehmen eine bedeutende Rolle. Die am Netzwerk teilnehmenden Unternehmen können durch den Vergleich mit anderen KMU ihre Stärken und Schwächen bezüglich der Energieeffizienz erkennen und gegebenenfalls Optimierungsmaßnahmen ergreifen.

---

I. Álvarez (✉)

Institut für Informationsmanagement, IMBC GmbH, Chausseestraße 84, 10115 Berlin, Deutschland  
e-mail: iria.alvarez@imbc.de

---

**Schlüsselwörter**

IT-gestütztes Energiemanagement • Benchmarking • Energieeffizienznetzwerk • KMU

---

### 3.1 Motivation

Die drei Säulen der aktuellen europäischen Energiepolitik sind Nachhaltigkeit, Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit. 2008 hat sich die Europäische Union auf die Einhaltung von energiepolitischen Zielen geeinigt. Diese enthalten eine ambitionierte Zielvorgabe bis 2020, die als „20 20 20-Ziele“<sup>1</sup> bezeichnet werden.

Die kostengünstigste Lösung, um dieses Ziel ohne Verringerung der wirtschaftlichen Aktivität zu erreichen, ist die Verbesserung der Energieeffizienz sowohl in Gebäuden als auch in der Industrie (BMU 2010).

Die deutsche Wirtschaft ist stark durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägt. Mehr als 99 % der Unternehmen in Deutschland gehören zu dieser Kategorie (IfM-Bonn 2013). Die Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen haben mit rund 44 % einen bedeutenden Anteil am gesamten deutschen Endenergieverbrauch (IHK-Berlin 2013).

In diesen Unternehmen liegt der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten durchschnittlich bei 5 % (Thamling et al. 2010), aber einige Unternehmen, z. B. aus dem Metallverarbeitungssektor, sind sehr energieintensiv und der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten kann bis zu 20 % betragen (Thamling et al. 2010). Das Potenzial zur Energieeinsparung der Unternehmen liegt zwischen 5 und 20 % (Thamling et al. 2010). Die Probleme, die die Ausschöpfung dieses Potenzials in der Industrie verhindern, liegen grundsätzlich in einem schwachen Bewusstsein für die potenziellen Vorteile und in den hohen Investitionskosten.

Das Projekt „ReMo Green-Energieeffizienz für Berliner Betriebe“ unterstützt Berliner KMU bei der Erreichung ihrer Energieeffizienzziele. Im Rahmen der Kooperation in Energieeffizienznetzwerken, werden ein Referenzmodell für Energiemanagementwerkzeuge bzw. eine Referenzstandardsoftware für Energieeffizienz entwickelt und ein branchenbezogenes Energie-Benchmarking durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Im Rahmen des „20 20 20 bis 2020“ sollen die EU-Treibhausemissionen um 20% reduziert werden, der Gesamtanteil an erneuerbaren Energien soll auf 20% steigen und die Energieeffizienz um 20% erhöht werden.



### **3.2 Hindernisse für die Steigerung der Energieeffizienz in KMU durch die Umsetzung eines Energiemanagementsystems**

Die Umsetzung eines Energiemanagementsystems ermöglicht den KMU den Energieverbrauch kontinuierlich zu senken, langfristig Energiekosten einzusparen und einen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen zu leisten. Die Zertifizierung von Energiemanagementsystemen erfolgt nach der DIN EN ISO 50001, die im März 2012 in Kraft getreten ist. Jedoch hat diese Norm einige Mängel und Schwächen in der praktischen Anwendung; dies betrifft insbesondere KMU aufgrund ihrer begrenzten Management-Kapazitäten. Für kleine Unternehmen ist ein Energiemanagementsystem außerdem ein überdimensionierter Ansatzpunkt für eine erste Auseinandersetzung mit der Energieeffizienz. Ein Energiemanagement wird in KMU als Ziel betrachtet und nicht als Mittel für mehr Energieeffizienz. Eine Reihe von Voraussetzungen müssen in KMU vorzeitig erfüllt werden, um die Umsetzung eines Energiemanagementsystems in vollem Umfang zu ermöglichen. Die von der KMU eingesetzte Vorgehensweise ist mit einem zielorientierten Reifegradmodell vergleichbar, das schrittweise zu der Umsetzung eines integrierten und lebenden Energiemanagements führt.

Ein angemessener Ansatzpunkt für diesen Prozess ist die Zusammenstellung von grundlegenden Informationen über den Energieverbrauch des Unternehmens. Der stellt schon in KMU ein ernsthaftes Hindernis und dieser erschwert extrem in erster Linie die Identifizierung von Möglichkeiten zur Energieeinsparung und zur Folge die spätere Umsetzung eines Energiemanagementsystems.

KMU verfügen weder über ausreichendes Know-how noch über personelle Fachkapazitäten für die Auseinandersetzung mit Energiefragen. Aber das größte Hindernis für die Identifikation, Planung und Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen in KMU sind die unzureichenden Finanzmittel (Thamling et al. 2010). Mit solchen Beschränkungen bleibt die Investition in ein Softwareprodukt zur Unterstützung der Verbesserung der Energieeffizienz und seine Nutzung unerfüllt.

Traditionell sind KMU konservativ hinsichtlich Veränderungen in dem vorliegenden betrieblichen Prozessablauf, die die Produktionssicherheit in Frage stellen können. Aber die Betrachtung der Energieeffizienz des Produktionsprozesses zielt auf die Optimierung des Energieeinsatzes. Dafür müssen nicht umfangreiche Veränderungen vorgenommen werden um die vorhandenen Energieeinsparpotenziale ausschöpfen zu können.

In KMU sind üblicherweise keine Strukturen für Energieeffizienz vorhanden, weder in der betrieblichen Ebene, noch in der technischen Ebene und keinesfalls in der IT-Ebene. Aufgrund des Mangels an Know-how, Personal und Zeit zeigen die Unternehmen eine gewisse Bereitschaft für die Nutzung von IT-Lösungen, die die Unternehmen in einer sehr praktischen, visuellen und wenig aufwendigen Art und Weise bei der Betrachtung der Energieeffizienz unterstützen.

Daher kann die erwartete Inanspruchnahme der geplanten IT-Lösungen in KMU als Mittel betrachtet werden. Dafür werden die Unternehmen in die Implementation und Nutzung einer solchen IT-Unterstützung der Energieeffizienz eingeführt.

---

### 3.3 Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz in KMU

Um die genannten Hindernisse zu überwinden, können branchengleiche Unternehmen sich in Energieeffizienznetzwerke einbinden und in einem Energieeffizienzprojekt wie „ReMo Green“ zusammenarbeiten. Im Rahmen dieses branchenorientierten Netzwerks werden ein Referenzmodell für Energiemanagementwerkzeuge bzw. eine Standardsoftware für Energieeffizienz entwickelt und ein Energie-Benchmarking durchgeführt.

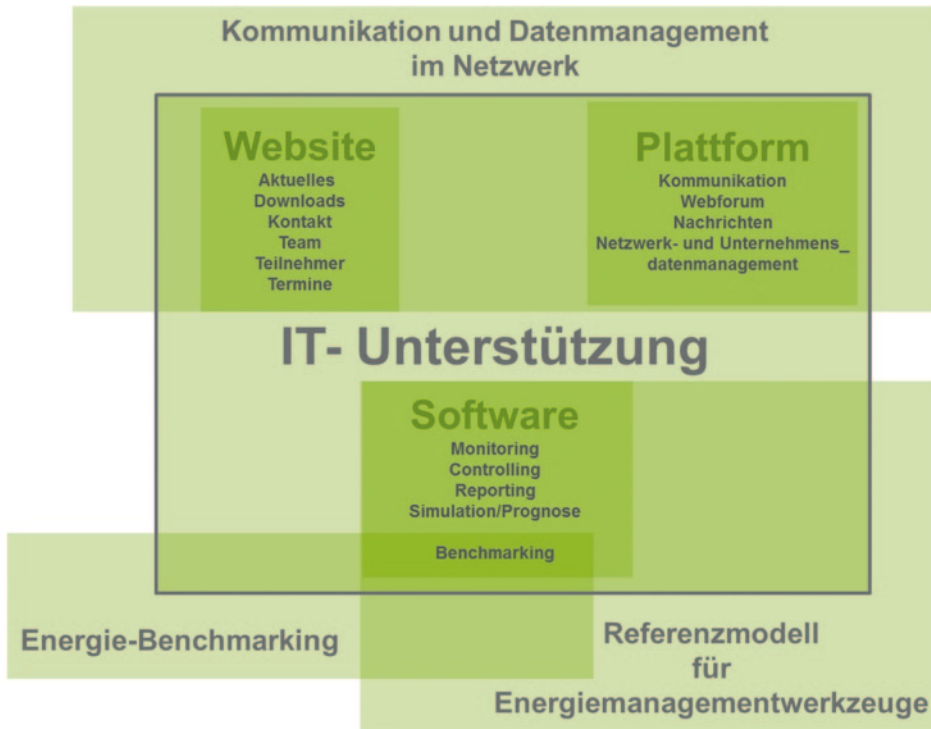
Das Referenzmodell gibt Anweisungen für die Steigerung der Energieeffizienz in KMU aus gleichen Branchen mit dem Ziel der Umsetzung eines Energiemanagementsystems. In Unternehmen ist die Energienutzung im Allgemeinen sehr vielfältig. Anders als bei den Querschnittstechnologien<sup>2</sup> kann der Energieeinsatz für Produktions- oder Verarbeitungstechnologien stark branchenabhängig sein und gegebenenfalls einen großen Anteil des gesamten Energieverbrauchs im Unternehmen ausmachen. Deshalb arbeitet das Projekt „ReMo Green“ gezielt auf die Verbesserung der Energieeffizienz in dem Produktionsprozess hin. Der Bereich der energetischen Gebäudesanierung birgt ein großes Potenzial auf Energieeinsparung für Unternehmen, die ihre eigenen Büroräume und Industriehallen besitzen. Aber die meisten kleinen und mittleren Unternehmen im Netzwerk sind zur Miete in Geschäftsgebäuden untergebracht und deshalb ist der Freiraum für das Ergreifen gebäudetechnischer Maßnahmen extrem reduziert.

Der branchenbedingte Fokus des Projektes „ReMo Green“ schließt branchenfremde Aspekte nicht aus, wenn diese als Standard für eine Branche betrachtet werden können.

Die Durchführung eines Energie-Benchmarkings innerhalb eines Netzwerks ist nur dann möglich, wenn die geeigneten betrieblichen Energiekennzahlen ermittelt sind. Durch das Benchmarking haben die Unternehmen die Möglichkeit konsequent und zielorientiert nach neuen energieeffizienten Handlungsweisen zu suchen und von dem Besten zu lernen. Ohne die IT-Unterstützung lassen sich die eben genannten Aktivitäten sehr schwer realisieren (Abb.3.1).

---

<sup>2</sup> Zu den Querschnittstechnologien gehören: Heizungstechnik, Warmwassertechnik, Beleuchtung, Klimatechnik, Lüftungstechnik, Drucklufttechnik, Kühlung- und Kältetechnik, elektrische Antriebe (Pumpen, Motoren etc.), Fördertechnik und Informations- und Kommunikationstechnologien.



**Abb. 3.1** IT-Unterstützung der Energieeffizienzaktivitäten (Quelle: Eigene Abbildung)

### 3.4 IT-gestützte Kooperation in branchenorientierten Energieeffizienznetzwerken

Unternehmensnetzwerke und vor allem Energieeffizienznetzwerke sind seit über 30 Jahren bekannt. Die Idee des Energieeffizienznetzwerks kommt aus der Schweiz. 1987 wurde das erste seiner Art in Zürich gegründet, mit dem Ziel der Reduzierung der Energiekosten durch regelmäßigen Erfahrungsaustausch zwischen den Unternehmen und mit der Hilfe von Experten aus dem operativen Energiebereich.

Derzeit gibt es etwa 25 aktive regionale Netzwerke in ganz Deutschland. Die Teilnehmer dieser Netzwerke gehören zu verschiedenen Branchen.

Bei dem Projekt „ReMo Green“ bietet sich die Kooperation in branchenbezogenen Energieeffizienznetzwerken aufgrund der starken Branchenabhängigkeit des Produktionsprozesses als ein geeigneter Modus Operandi an.

Branchenorientierte Energieeffizienznetzwerke unterstützen die Unternehmen bei der Identifizierung, Umsetzung und Überwachung von Maßnahmen zur Energieeffizienz. Innerhalb eines Energieeffizienznetzwerks sind Unternehmen der gleichen Branche in der Lage, Erfahrungen miteinander auszutauschen und auf diese Weise die gegenseitigen

Lernprozesse zu erleichtern und Energieziele schneller zu erreichen. Durch diesen Erfahrungsaustausch werden die Kosten für die Suche und Entscheidungsfindung von Maßnahmen zur Energieeinsparung stark reduziert (Rocha 2010). Der Erfahrungsaustausch im branchenorientierten Energieeffizienznetzwerk ist effektiver und wertvoller als in Netzwerken verschiedener Branchen, weil die Produktionsprozesse sehr ähnlich sind und die Probleme und entwickelten Lösungen in Bezug auf die Energie sehr wahrscheinlich mit allen Unternehmen im Netzwerk geteilt werden können. Diese branchenbezogenen Lösungen für mehr Energieeffizienz können auch auf andere Unternehmen aus den gleichen Branchen, die nicht zum Netzwerk gehören, übertragen werden.

Ein weiterer Vorteil für die teilnehmenden Unternehmen ist die Erhöhung der Motivation und der Kompetenz der Mitarbeiter durch Schulungen über Energieeffizienzthemen. Diese Schulungen werden je nach Qualifikationsbedarf der einzelnen Branchen und einzelnen Unternehmen entwickelt.

Die Aktivitäten im Netzwerk und im Unternehmen werden von einem Arbeitsteam durchgeführt. Das Arbeitsteam besteht aus einem Netzwerkmanager, einem Energiemanager und einem Softwareentwickler. Die Aktivitäten und die Kommunikation im Netzwerk werden durch Informationstechnologien unterstützt. Eine Webseite für die Projektorganisation und eine Netzwerkplattform werden eingerichtet. Über die Projektwebseite sind die Netzwerkmitglieder in der Lage mit den verschiedenen Projektansprechpartnern zu kommunizieren. Eine aktualisierte Liste mit den Netzwerkmitgliedern steht immer auf der Webseite zur Verfügung. Die Netzwerker haben freien Zutritt zu Informationen über alle Termine rund um das Netzwerk und andere Veranstaltungen. Es besteht auch die Möglichkeit, dass die Netzwerker Infomaterial, Projektinformationen oder in den Veranstaltungen gehaltene Vorträge herunterladen. Die Netzwerkplattform unterstützt die Kommunikation zwischen den Netzwerkmitgliedern und ermöglicht das Netzwerk- und Unternehmensdatenmanagement. Die Unternehmensdatenbank besteht im Wesentlichen aus unternehmensbezogenen, technischen und energiebezogenen Daten. Der Zugang zu dieser Datenbank ist für registrierte Mitglieder des jeweiligen Unternehmens beschränkt. Jedes Mitgliedsunternehmen im Netzwerk hat Zugriff auf die eigenen Daten (Becker et al. 2011).

Die unternehmensbezogenen Daten dienen dazu, das Unternehmen zu charakterisieren. Ausgewählte betriebswirtschaftliche Daten, wie z. B. die Herstellungskosten, die Anzahl der Produkte und der Umsatz, werden beispielsweise als Bezugsgrößen für die Energiekennzahlen angewendet und nicht als absolute Größen dargestellt. Die energiebezogenen Daten werden als Energiegrößen für die Energiekennzahlen benutzt. Außerdem sind zusätzliche Informationen zur Organisation und zur verwendeten Technik notwendig. Hierzu zählen Unternehmensdokumentationen wie z. B.: Unternehmensberichte, Grundrisse der Gebäude und Organisationspläne; Technische Dokumentation wie z. B.: Anlageneigenschaften, Instandhaltungspläne, Anlage- und Betriebsanleitungen, Arbeitsanweisungen und Prozessinformationen; Energetische Dokumentationen wie z. B.: Berichte der Energieträgerlieferanten, Energierechnungen, Stromlastgänge, vorhandene Messergebnisse, Energiebilanzen und Energieflussbilder (Regen 2012).



**Abb. 3.2** Nutzergruppe der Netzwerkplattform (Quelle Eigene Abbildung)

All diese Informationen werden in der Plattform gespeichert, verwaltet und jedem Unternehmen zur Verfügung gestellt. Jedes Unternehmen besitzt einen eigenen Benutzernamen und ein Passwort, um sich auf der Plattform einloggen zu können und zu den eigenen Daten und Ergebnissen Zugang zu haben.

Die Nutzergruppe der Netzwerkplattform besteht aus Netzwerkbetreiber und Unternehmensnutzer. Die Nutzer jeder Gruppe werden in der Abb. 3.2 dargestellt.

Die funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen an die Netzwerkplattform wurden von den Netzwerkbetreibern diskutiert und definiert um die Netzwerkplattform gestalten zu können. Die funktionalen Anforderungen an die Netzwerkplattform sind hier zusammengefasst:

- Unterstützung der Kommunikation zwischen den Netzwerkpartnern inkl. voll funktionalem Webforum
- Ermöglichung des Managements der Unternehmensdaten
- Erstellung eines Administratorbackends für die Erfassung und Aufarbeitung der in den Unternehmen gesammelten Informationen und Stammdaten sowie die Bereitstellung von Berichten
- Erstellung von Funktionalitäten für das Benutzermanagement, inkl. Profilen und Authentifikationsmodell
- Umsetzung eines internen Nachrichtensystems mit automatischem Emailversand

Die nicht funktionalen Anforderungen an der Netzwerkplattform sind im Wesentlichen:

- die Verfügbarkeit der Plattform für alle Nutzer
- die Sicherheit der Daten
- die Zugänglichkeit und Erreichbarkeit der Plattform durch eine webbasierten Implementation und ein Webbrowser

- die Interoperabilität und Kompatibilität
- die Skalierbarkeit der Netzwerkplattform
- die Usability und Bedienbarkeit, die möglichst intuitiv durch eine einfache Benutzeroberfläche erfolgen soll

---

### **3.5 Entwicklung eines Referenzmodells für Energiemanagementwerkzeuge und einer branchenorientierten Standardsoftware für Energieeffizienz**

Das operative Energiemanagement nach der DIN EN ISO 50001 folgt dem PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act). Der PDCA-Zyklus bildet den Rahmen für eine kontinuierliche Verbesserung der Prozesse und/oder Systeme. Aber das ist nur Theorie. In der Praxis werden die relevanten Inhalte der einzelnen Schritte des Verfahrens nicht vorgeesehen, aber frei gewählt und sind deshalb nicht geeignet und nicht konkret genug für den Einsatz in KMU. Die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem werden in der DIN EN ISO 50001 sehr unübersichtlich beschrieben und die Anleitung zur Anwendung der internationalen Norm bietet keine zusätzlichen und nützlichen Informationen. Die wichtigsten Anforderungen an ein Energiemanagementsystem sind die Identifizierung des Top-Managements und eines Beauftragten für das Management, die Definition einer Energiepolitik, die Durchführung und Dokumentation eines Energieplanungsprozesses, die Einführung und Umsetzung des Planungsprozesses, die Überprüfung der Ergebnisse von Überwachung, Messung und Analyse und die Managementbewertung (Norm 2011).

Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist ein Referenzmodell für Energiemanagementwerkzeuge zu entwickeln.

Referenzmodelle werden verwendet, um typische branchenspezifische Prozesse und Strukturen (unter „Common Practice“ bekannt) zu beschreiben und haben die Eigenschaft von allgemeiner Gültigkeit (in diesem Fall für dieselbe Branche) zu sein. Das bedeutet, dass die Aspekte, die nicht als Standard für eine Branche betrachtet werden können, auch nicht zum Referenzmodell gehören. Referenzmodellierung ist die Suche nach einem Standard. Um die Heterogenität zwischen Unternehmen gleicher Branche zu überwinden und die speziellen Anforderungen des Unternehmens erfüllen zu können, kommt die Anwendungsphase zum Einsatz, wobei Referenzmodelle den Vorteil der leichten Modifikation und Anpassung haben (Delfmann 2006).

Ein Referenzmodell ist eine Empfehlung, die für die Entwicklung spezifischer Modelle für konkrete Unternehmen verwendet werden kann. Das Referenzmodell schildert allgemeine Lösungsansätze für abstrakte Typen von Problemen (in diesem Fall die Umsetzung eines Energiemanagementsystems), die für eine Branche gültig sind und bietet einen Ausgangspunkt für die Modellierung konkreter Sachverhalte im Unternehmen.

Die Referenzmodellierung ist in zwei Hauptphasen geteilt: die Konstruktion und die Anwendung des Referenzmodells (Dyckhoff et al. 2011). Die Konstruktion eines Referenzmodells für Energiemanagementwerkzeuge fängt mit der Analyse von

Fallstudien und der betrieblichen energetischen Realität des Unternehmens innerhalb einer Branche an. Dies erfolgt (in jedem Unternehmen) durch die Erfassung der Daten, die für die Umsetzung eines Energiemanagements nötig sind. Die Sammlung der energetischen Daten ist in drei Ebenen gegliedert, je nach ausgewählten Bilanzgrenzen. Erstmals werden allgemeine Daten erfasst, um einen Überblick über den energetischen Zustand des Unternehmens zu bekommen. Im Folgenden steht der Produktionsprozess (die „Black Box“) im Mittelpunkt. Wenn möglich werden auch Daten der technischen Gebäudeausstattung erfasst, um diese im Zusammenhang mit dem Produktionsprozess zu sehen. Die Nutzung einer in dem Produktionsprozess verursachten Abwärme für die Heizung der Geschäftsräume ist ein Beispiel dafür.

Im letzten Schritt der Datenerfassung werden alle technischen Daten von den einzelnen Maschinen gesammelt und Messungen durchgeführt, um herauszufinden, ob diese unter optimalen Bedingungen arbeiten (Wieß 2010). Dann folgt die Strukturierung und die Organisation dieser Daten, die eine Analyse ermöglichen.

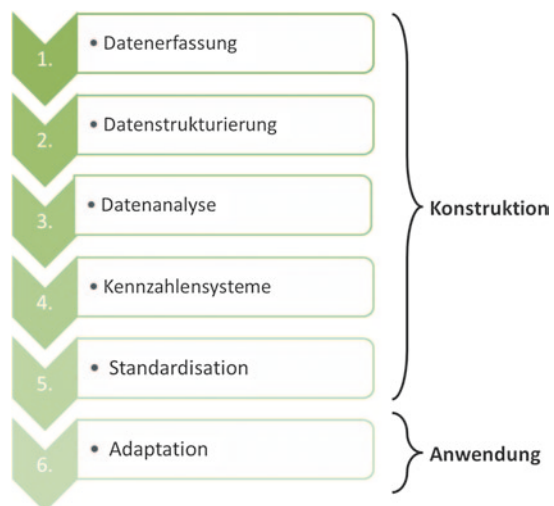
Aus der Analyse der Daten werden die typischen Schwachstellen in den Querschnittstechnologien, in dem Produktionsprozess, in der Organisations- bzw. in der Managementebene und in der Mitarbeiterqualifizierung identifiziert (s. Abb. 3.3).

Sobald die energetische Datenbank etabliert, strukturiert und analysiert ist, können Maßnahmen zur Energieeinsparung vorgeschlagen und das Energiekennzahlensystem entwickelt werden. Damit kann die Standardisierung initiiert werden. Der Standardisierungsprozess ist die Suche nach Gemeinsamkeiten mit dem Ziel der Definition eines Standards, einer Referenz oder des „Common Practice“ einer Branche.

Sobald der Standard definiert ist, sind die Unternehmen in der Lage, diesen anzupassen, um neue oder geänderte Anforderungen zu erfüllen oder ihn als Ausgangspunkt zu verwenden, um ein angemessenes Energiemanagementmodell zu entwickeln.

Parallel zur Entwicklung des Referenzmodells für das Energiemanagement, wird die Referenzmodellierung wieder in Anspruch genommen mit dem Ziel der Entwicklung eines

**Abb. 3.3** Phasen der Entwicklung eines Referenzmodells (*Quelle* Eigene Abbildung)



branchenbasierten Energieeffizienzsoftwaretools. Der Entwicklungsprozess hängt sehr stark von den Anforderungen der Unternehmen ab. Deshalb spielt die Zusammenarbeit mit den Netzwerkpartnern eine bedeutende Rolle in der Softwareanforderungsanalyse.

Durch die Durchführung von Interviews werden die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen in den Unternehmen sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Energieeffizienzsoftware erfasst. Ziel ist daher, grundlegende Daten für die Referenzmodellierung und die Standardisierung der Softwareanforderungen zu sammeln (Sommerville 2012). Die fünf allgemeinen Anforderungen oder Funktionalitäten, die zum Softwarekern gehören sind: Energiemonitoring, Energiecontrolling, Energiereporting, Simulation/Prognose und Benchmarking.

Das Energiemonitoring beschäftigt sich mit der kontinuierlichen Erfassung und Aufbereitung der Energieverbräuche und der Energiekosten. Sobald die Daten strukturiert und aufbereitet sind, ist Aufgabe des Energiecontrollings die Analyse dieser Daten und das Vorschlagen von Energieeinsparmaßnahmen. Die Ergebnisse aus dem Energiecontrolling werden in einem Energiereport zusammengefasst und dokumentiert. Der Energiereport soll so bildlich wie möglich sein und zeitlich und inhaltlich flexibel abgerufen werden können. Die Funktionalität der Simulation ist in der Lage künftige Energieverbräuche und Energiekosten zu prognostizieren und Energieeinsparung bzw. Amortisationszeit der zu ergreifenden Maßnahmen zu berechnen. Das Benchmarking spielt eine sehr wichtige Rolle nicht nur als Softwarefunktionalität, sondern auch als Treiber für den Lernprozess zwischen den an dem Benchmarking teilnehmenden Unternehmen.

---

### 3.6 IT-gestützte Benchmarking

Die Durchführung eines außerbetrieblichen Energie-Benchmarkings ermöglicht es den Unternehmen sich miteinander zu vergleichen, um die energiebezogenen Aktivitäten und Prozesse optimieren zu können und dadurch den Energieverbrauch und die daraus folgenden Energiekosten zu reduzieren. Ein erfolgreiches Benchmarking ermöglicht auch die Steigerung der Produktqualität, die Erhöhung der Kundenzufriedenheit und Mitarbeitermotivation und die nachhaltige Steigerung der gesamten Unternehmenswettbewerbsfähigkeit.

Der branchenbedingte Fokus wurde als der beste Ansatz für ein Energie-Benchmarking betrachtet, weil er die Durchführung eines detaillierten Vergleichs ermöglicht. Ein branchenunabhängiges Energie-Benchmarking bietet nicht die Möglichkeit, produktionsbezogene Aktivitäten zu vergleichen.

Ein Energie-Benchmarking innerhalb branchenbezogener Netzwerke wird nie die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen beeinträchtigen, weil die Unternehmen nur in Bezug auf ihre energetische Situation und nicht auf ihre betriebswirtschaftlichen Ergebnisse verglichen werden.

Das Energie-Benchmarking benötigt in erste Linie die Definition von geeigneten Energiekennzahlen. Die Struktur einer Energiekennzahl besteht aus Energieverbräuchen



oder Energiekosten (in einer bestimmten Zeitspanne), die in Bezug zu einer Vergleichsgröße gesetzt sind. Die Auswahl von der Bezugsgröße spielt die wichtigste Rolle, um eine geeignete Vergleichbarkeit schaffen zu können. Je ähnlicher die Prozesse und die Produktpalette sind, desto mehr und bessere Informationen bietet die Kennzahl (Kapusta et al. 2010). So ist die Durchführung eines Energie-Benchmarkings innerhalb einer Branche die beste Option für zuverlässige Ergebnisse.

Die Auswahl der Energiekennzahlen ist, unter anderem, von den zur Verfügung gestellten Daten abhängig. Die Daten werden von der Software erfasst. Mit der Funktionalität des Benchmarkings werden die Kennzahlen berechnet und verglichen. Kennzahlen müssen für alle Unternehmen im Netzwerk angemessen und gleich gültig sein. Einige der Kennzahlen, die für das Energie-Benchmarking verwendet werden können und die für alle Branchen gültig sind, sind in der Tab. 3.1 zusammengefasst.

Je nach Branche müssen branchenbezogene Energiekennzahlen definiert werden. Diese bieten den Unternehmen die Möglichkeit sich unter produktionsbezogenen Bedingungen zu vergleichen und nicht nur unter betrieblichen Bedingungen, wie es bei allgemeingültigen Energiekennzahlen der Fall ist. Für die Druckindustrie zum Beispiel sind in der Tab. 3.2 dargestellte Kennzahlen zu berechnen.

Aus dem Vergleich der berechneten Energiekennzahlen aller Unternehmen ergibt sich ein „Best Practice“ der Branche. Zu diesem Zeitpunkt sind die Unternehmen in der Lage, sich innerhalb der Branche zu positionieren und zu eruieren, was die höher positionierten Unternehmen besser machen und gegebenenfalls, Maßnahmen in Anspruch zu nehmen, um ihre Energieeffizienz zu verbessern.

**Tab. 3.1** Allgemeingültige Energiekennzahlen (Quelle Eigene Abbildung)

Energiekennzahl	Einheit
Energieverbrauch/Mitarbeiter	kWh/Mitarbeiter
Gesamtenergieverbrauch/Umsatz	kWh/Tausend Euro
Verbrauch pro Energieträger/Gesamtenergieverbrauch	kWh/kWh (%)
Energieverbrauch/Betriebsfläche	kWh/m <sup>2</sup> Fläche
Energiekosten/Gesamtkosten	Euro/Euro (%)
Energiekosten/Herstellungskosten	Euro/Euro (%)

**Tab. 3.2** Branchenbezogene Energiekennzahlen für die Druckindustrie (Quelle Eigene Abbildung)

Energiekennzahl	Einheit
Energieverbrauch/Papierverbrauch	kWh/kg, t
Energieverbrauch/verarbeitetes Papier	kWh/kg, t
Energieverbrauch/produzierte Einheit einer Produktgruppe (z. B.: Kalender, Flyer, Visitenkarte...)	kWh/Produkt
Energieverbrauch/gedruckte Papierbogen	kWh/m <sup>2</sup> Papierbogen

Die kontinuierliche Ermittlung und Gegenüberstellung dieser Energiekennzahlen schafft eine zuverlässige Basis für den Erfolg eines Energie-Benchmarkings. Durch die kontinuierliche Bewertung von diesen Energiekennzahlen werden Schwachstellen aufgedeckt und Lernpotenziale geschaffen.

---

### 3.7 Zusammenfassung

Energieeffizienznetzwerke und branchenbezogene Referenzmodelle bieten den kleinen und mittleren Unternehmen einen Ausgangspunkt für die Auseinandersetzung mit Umwelt- und Energiefragen und der Umsetzung von Maßnahmen in diesem Zusammenhang. Branchenorientierte IT – Lösungen unterstützen die Unternehmen bei der Entscheidungsfindung und der erfolgreichen Umsetzung dieser Maßnahmen.

Energie-Benchmarking wird als effizientes Werkzeug der Energieeffizienzsoftware eingesetzt. Das Vorhandensein solcher branchenbezogener Software im Unternehmen erleichtert erheblich die Bereitstellung von vergleichbaren Informationen und die Realisierung des Benchmarkings. Das Ziel ist es, eine branchenbezogene Energiekennzahlen-Datenbank zu schaffen, mit Zielwerten aus der „Best Practice“, die als Orientierung und Motivation für andere teilnehmende Unternehmen dienen.

**Danksagung** Das Projekt „ReMo Green – Energieeffizienz für Berliner Betriebe“ (Projektnummer EFRE-WV-1) wird durch den Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) und die Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung in Berlin gefördert.

---

### Literatur

- Becker T, Dammer I, Howaldt J, Loose A (2011) Netzwerkmanagement. Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg. Springer
- BMU (2010) Prognose zur Senkung des Primärenergiebedarfs durch höhere Effizienz in Deutschland von 2010 bis 2050. Bundesministerium, Focus, Nr. 17, 26. April 2010, S 69
- Delfmann P (2006) Adaptive Referenzmodellierung. Methodische Konzepte zur Konstruktion und Anwendung wiederverwendungsorientierter Informationsmodelle. Logos Verlag, Berlin
- Dyckhoff H, Souren R, Elyas A (2011) Betriebstypischen Referenzdatenmodelle strategischer Kennzahlensysteme der Entsorgungswirtschaft. Gabler Verlag
- IfM Bonn (2013) Kennzahlen zum Mittelstand 2010/2012 in Deutschland. Institut für Mittelstandsforschung Bonn. <http://www.ifm-bonn.org/index.php?id=99>. Zugegriffen: 11. Feb 2013
- IHK-Berlin (2013) Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe. Industrie- und Handelskammer Berlin. [http://www.ihk-berlin.de/innovation/energie/814988/Energieeffizienz\\_in\\_Industrie\\_und\\_Gewerbe\\_index.html](http://www.ihk-berlin.de/innovation/energie/814988/Energieeffizienz_in_Industrie_und_Gewerbe_index.html). Zugegriffen: 11. Feb 2013
- Kapusta F, Stamberger S (2010) KMU-Initiative zur Energieeffizienzsteigerung Begleitstudie: Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU. Ausgabe Januar 2011. Wien 2010
- Norm (2011) Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011. Beuth
- Regen S (2012) Energiemanagement in der betrieblichen Praxis

- Rocha M (2010) Masterarbeit im Studiengang “Environmental Management“ – Management natürlicher Ressourcen. Introduction and Implementation of the LEEN Energy Management System for the network oriented companies
- Sommerville I (2012) Software Engineering, 9. aktualisierte Aufl. Pearson Verlag
- Thamling N, Seefeldt F, Glöckner U (2010) Rolle und Bedeutung von Energieeffizienz und Energiedienstleistungen in KMU. Auftraggeber: KfW Bankengruppe. Prognos AG, Berlin
- Wieß M (2010) Datenauswertung von Energiemanagementsystemen: Datenerfassung, Messwertdarstellung und -interpretation, Kennwerte zur Energieverteilung. Praxisbeispiele. Publicis Publishing

---

# Kommunikation von Umweltkennzahlen im Smart Grid und deren Integration in die verteilte Wirkleistungsplanung

Jörg Bremer und Michael Sonnenschein

---

## Zusammenfassung

Der Sektor der elektrischen Energieversorgung befindet sich derzeit am Beginn eines technologischen Umbruchs bezüglich zukünftiger Erzeugungsstrukturen und deren Steuerungsansätzen. Der steigende Anteil kleiner, verteilter und individuell konfigurierter Erzeuger wird dazu führen, diese zusammen mit steuerbaren Verbrauchern und Speichern zu Verbänden zusammenschließen, um einerseits das Steuerungsproblem für einen jederzeitigen Lastausgleich auf einem handhabbaren Niveau zu halten und andererseits Marktmechanismen zu integrieren. Virtuelle Kraftwerke sind eine frühe, wenn auch (bezüglich Zusammensetzung) unflexible Form solcher Ansätze, mit denen der Anteil integrierbarer regenerativer Energien erhöht werden soll. Zukünftig sind eher dynamisch (re-) konfigurierte, smarte und von Agenten kontrollierte Verbände zu erwarten. Um hier von einer grünen Technologie zu sprechen, dürfen Umweltaspekte bei der Lastplanung nicht vernachlässigt werden. Individuelle Handlungsoptionen der Einheitenagenten haben auch individuelle Umweltauswirkungen zur Folge, sodass eine Kommunikation bezüglich einer umweltbewussten Gesamtplanung unumgänglich scheint. Hierfür müssen mögliche Fahrpläne einer elektrischen Anlage individuell mit Kennzahlen bezüglich der Umweltwirkung annotiert werden. Technisch ist dies sicherlich möglich, die Frage stellt sich nach den Inhalten. Welche Information muss zur

---

J. Bremer (✉) · M. Sonnenschein  
Department für Informatik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,  
Ammerländer Heerstr. 114–118, 26129 Oldenburg, Deutschland  
e-mail: joerg.bremer@informatik.uni-oldenburg.de

M. Sonnenschein  
e-mail: Sonnenschein@informatik.uni-oldenburg.de

Planungszeit zu einem gegebenen Lastgang verfügbar sein und wie kann von den verschiedenartigen Einheiten abstrahiert werden? Über geeignete Kennzahlen und deren Integration soll hiermit eine Diskussion gestartet werden.

---

**Schlüsselwörter**

Umweltkennzahlen • Smart Grid • Wirkleistungsplanung • Verteilte Optimierung

---

## 4.1 Einleitung

Ein effizientes Management einer stetig wachsenden Anzahl an dezentralen Energiesystemen ist unverzichtbar, um die Transition des derzeitigen, zentral gesteuerten Energieversorgungssystems hin zu einem dezentralisierten Smart Grid zu ermöglichen. Es seien an dieser Stelle bevorzugt diejenigen, eher kleinen Energiesysteme betrachtet, die ohne ein Bundling mit anderen Anlagen ihrer oder anderer Art, bzw. mit ebenfalls kleinen Verbrauchern oder so genannten Prosumern (Einheiten, die sowohl als elektrische Erzeuger als auch als Verbraucher auftreten können; z. B. Speicher) allein keinen nennenswerten Betrag leisten könnten. Gegebenenfalls können an einem solchen Verbund auch zusammengesetzte Einheiten (etwa ein Haushalt) partizipieren, weshalb im Folgenden der allgemeinere Begriff Einheit Verwendung findet.

Solche Einheiten müssen sich mit anderen gruppieren, sowohl um gemeinschaftlich an einem Energiemarkt bestehen zu können (bzw. überhaupt teilnehmen zu dürfen), als auch um gemeinsam eine hinreichend große Zahl an Freiheitsgraden für eine sinnvolle Steuerung zu erreichen. Als gemeinsam gesteuerter Verbund stellen sie sodann ein flexibles Energiesystem mit hinreichend Marktpotenzial dar.

Für das Management eines solchen Einheitenverbundes muss in regelmäßigen Abständen folgendes Optimierungsproblem gelöst werden: Gegeben ist ein Wirkleistungsprodukt welches für einen gegebenen zukünftigen Zeitrahmen (in  $n$  diskrete Zeitintervalle unterteilt) eine Wirkleistungsvorgabe macht. Vorgegeben ist für jedes Zeitintervall die mittlere zu erbringende Wirkleistung bzw. (äquivalent dazu) die im jeweiligen Intervall zu erbringende Energiemenge. Gesucht ist eine Partition dieses Gesamtlastgangs, die eine Aufteilung auf die beteiligten Einheiten in dem Verbund derart vornimmt, dass

- die Summe aller Einzellastgänge der Einheiten möglichst genau den gewünschten Produktlastgang ergibt.
- Individuelle Kosten für die Erbringung der einzelnen Lastgänge minimiert werden.
- Kennzahlen zur Zuverlässigkeit bzw. als Maß für verbleibende Freiheitsgrade zur Verbesserung der Versorgungsqualität führen.

Als weitere Herausforderung kommt die Fairness der Aufteilung hinzu. Umweltkennzahlen spielen derzeit bei der Bewertung von Lösungskandidaten keine Rolle. Für die Bestimmung einer optimalen Partition, muss für jede der beteiligten Einheiten genau ein Lastgang (als

Fahrplan) aus dem jeweiligen individuellen, Einheiten-spezifischen Suchraum ausgewählt werden. Ein Schedulingalgorithmus (unabhängig davon, ob es sich um ein zentrales oder ein verteiltes Verfahren handelt) muss also wissen, welche Lastgänge von einer Einheit in dem fraglichen Zeitraum erbracht (gefahren) werden können und welche aufgrund von Constraintverletzungen nicht umgesetzt werden können. Daher muss der Suchraum mit den realisierbaren Lastgängen von einer Einheit effizient und standardisiert kommuniziert werden können. Eine Möglichkeit für die Suchraummodellierung wurde beispielsweise in (Bremer et al. 2011a) vorgestellt.

Soll die Auswahl konkreter Fahrpläne aus den Suchräumen auch nach Umweltgesichtspunkten erfolgen, so muss jeder einzelne Fahrplan in dem Suchraum mit entsprechenden Umweltinformationen verknüpft sein. So erlauben solche Kennzahlen beispielsweise Rückschlüsse auf individuelle CO<sub>2</sub>-Emissionen einzelner Fahrpläne. Analog gilt dies auch für andere Kennzahlen und Kostenfaktoren, die aber hier nicht weiter betrachtet werden. Dass dies mit dem zuvor genannten Modell möglich ist wurde bereits in (Bremer et al. 2011a) gezeigt. Mögliche Wege zu Sicherstellung der Interoperabilität bezüglich der Umweltkennzahlen wurden in (Bremer 2012) aufgezeigt.

Jede dezentrale Energieanlage (z. B. Mini-BHKW im häuslichen Bereich) ist zur Erfüllung eines bestimmten Zwecks konstruiert. Meist kann dieses Ziel aber auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Allgemein gilt dies für verschiedenste steuerbare elektrische Anlagen im Smart Grid Umfeld. O.B.d.A wird in dieser Arbeit meist am Beispiel des BHKW motiviert, wobei die Schlussfolgerungen immer auch auf weitere Anlagen zutreffen dürften. Im Falle des BHKW ist meist die Wärmeerzeugung von der Nutzung durch einen thermischen Pufferspeicher zeitlich entkoppelt. Hierdurch wird es möglich, die Wärmemenge, die für die nähere Zukunft benötigt wird, um ein Haus (sowie Warmwasser) auf einer gegebenen Temperatur zu halten, mit verschiedenen Produktionsprofilen zu erzeugen. Hierdurch ergeben sich zeitgleich auch verschiedene elektrische Lastgänge. Jedes dieser alternativen Erzeugungsprofile ist nun ein Lösungskandidat mit individuellen Auswirkungen auf die Umwelt; beispielsweise durch statische Verluste von zusätzlich zwischengespeicherter Wärme. Werden die Lastgänge im Suchraummodell geeignet mit entsprechenden Umweltinformationen annotiert, so kann ein Optimierungsverfahren hiervon Gebrauch machen und die Gesamtumweltauswirkungen des Verbundes zu minimieren versuchen. Dies ist technisch (im Sinne der mathematischen Suchraummodellierung) möglich. Offen sind jedoch die Fragen, welche Umweltkennzahlen erfasst (bzw. aus Messdaten abgeleitet) werden sollten und wie diese im Rahmen der Optimierung am sinnvollsten eingesetzt werden können.

Untersuchungen betrachten bisher üblicherweise die Umweltwirkung des Smart Grid als Ganzem (NETL 2011) z. B. bei der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien oder bei der Unterstützung von mehr Energiebewusstsein seitens der Verbraucher (Rapp et al. 2011b), von erneuerbarer Energien im Allgemeinen (Nitsch et al. 2004) oder aber die einer Technologie als solcher, unabhängig von konkreter Erzeugung einzelner Anlagen. Ein Beispiel für letzteres sind Untersuchungen zum Vogelschlag bei Windenergieanlagen

(Peters et al. 2007). Dies sind Effekte, die über die Vielzahl der Anlagen und über eine längere Zeitdauer gemittelt sind und erlauben keine individuelle Verbesserung durch wiederholte Wahl jeweils kurzfristig bester Alternativen. Sie werden hier nicht weiter betrachtet.

In dieser Arbeit stehen die unterschiedlichen Umweltwirkungen einzelner Anlagen durch die Variabilität verschiedener Betriebsweisen im Vordergrund. Insgesamt ergeben sich in diesem Forschungsfeld verschiedene offene Problem- und Fragestellungen, die in diesem Diskussionspapier zur Diskussion gestellt werden sollen; beispielsweise:

- Die Heterogenität der an einem Verbund beteiligten Anlagen führt dazu, dass bestimmte Umweltindikatoren nicht auf alle Anlagen angewandt werden können. Hieraus ergibt sich für jeden Verbund auch ein individuell zusammengesetzter Katalog von zu bestimmenden Kennzahlen.
- Hieraus leitet sich direkt die Frage nach einer geeigneten Aggregation der verschiedenen Kennzahlen eines Verbundes ab, um möglichst nur ein Nebenziel für die Verringerung der negativen Umweltwirkung in die Optimierung integrieren zu müssen.
- Letztlich müssen die individuellen Kennzahlen in eine Bewertung des Verbundes integriert werden. Welche Vorgehensweise hier die beste ist, ist ebenfalls eine offene Frage. Sowohl Aggregation als auch Integration müssen automatisiert und unabhängig von der tatsächlichen Zusammensetzung der Indikatorenmenge erfolgen können.
- Welche Rolle spielt der Grad der mathematischen/ wertlichen Genauigkeit der übermittelten Werte? Wie nachvollziehbar können/ müssen die Werte sein?

Dieser Bericht soll zunächst für diese noch relativ neue Problemstellung an sich sensibilisieren und hat somit eher die Absicht eine Diskussion über die Thematik anzustoßen als Antworten zu liefern.

Die weitere Ausarbeitung gliedert sich daher in einen Überblick über mögliche Umweltkennzahlen im Smart Grid Umfeld und eine Rekapitulation von Möglichkeiten der Modellierung, bevor deren Einsatz innerhalb von Optimierungsansätzen näher betrachtet werden kann.

---

## 4.2 Modellierung von Umweltkennzahlen für die Lastplanung

Eigentlich erfassen Umweltkennzahlen (wie z. B. CO<sub>2</sub>-Emissionen, Wasser oder Energiefußabdruck, o. ä.) die Umweltwirkung von Unternehmen oder Organisationen. So gesehen sind sie ein Maß, welches die Performanz bei der Erreichung eines Unternehmensziels in Bezug auf die Umwelt reflektiert (Hřebíček et al. 2007). Bis dato gibt es kein allgemeines Beschreibungsmodell für den standardisierten Austausch von Umweltkennzahlen auf semantischer Ebene. Für die Ebene von Unternehmen bzw. Organisationen wurde ein erstes auf einer speziell entwickelten Ontologie beruhendes

Konzept für einen Beschreibungsstandard jedoch bereits vorgeschlagen (Meyerholt et al. 2010). Eine mögliche Erweiterung für den Anwendungsfall Smart Grid wurde in (Bremer 2012) vorgeschlagen.

Ein anvisierter Anwendungsfall dort ist die Unterstützung umweltfreundlicher Produktentwicklung. Nun kann aber ein virtuelles Kraftwerk oder auch ein dynamisch gebildeter Verbund von elektrischen Einheiten als Produzent eines Wirkleistungsproduktes (oder eines Systemdienstleistungsproduktes wie Regelleistung o. ä.) gesehen werden, sodass eine grundsätzliche konzeptionelle Verwandtschaft der Vorgänge gegeben ist. Produkt ist im Smart-Grid-Fall ein Lastgang, der aus Einzelteilen (Einzellastgänge) von einer Menge von Zulieferern zusammengesetzt wird. Ein Algorithmus hierfür kann sich ähnliche Fragen bzgl. umweltfreundlicherer Alternativen bezüglich der Einzelteile stellen wie die Beschaffungsabteilung bei der Produktplanung im Rahmen eines Designprozesses beim produktionsintegrierten Umweltschutz. Gehen Umweltindikatoren in die Bewertung eines Verbundes ein, so können auch verschiedene Zulieferer hinsichtlich ihrer Wirkung verglichen und bei der Beschaffung berücksichtigt werden.

Auf technischer Ebene sind grundlegende Fragestellungen bereits angegangen. Wege zur effizienten Kommunikation in Unternehmen, insbesondere aber auch im Smart Grid Umfeld, wo eine automatisierte Weiterverarbeitung aufgrund der kurzen Zeitfristen den Grad der Interoperabilitätsanforderungen noch weiter erhöht, sind vorhanden. In vielen Bereichen im Unternehmensumfeld sind auch die inhaltlichen Fragen nach dem Was zur Gesamtprozessbetrachtung kommuniziert werden sollte bzw. muss bereits angegangen. Beispiele hierfür sind: Die Rohstoffbeschaffung in der Lebensmittelbranche (z. B. Dada et al. 2010), der Transport durch komplexere Logistikketten (Rapp et al. 2012) oder aber die umweltverträgliche Vermittlung in der Biomasselogistik (Rapp et al. 2011a).

Die Frage nach geeigneten Umweltinformationen für Lastgangplanungsszenarien ist jedoch noch neu (abgesehen von ihrer technischen Betrachtung) und derzeit weitgehend offen.

---

### 4.3 Umweltkennzahlen in Lastplanungsszenarien

Bevor konkrete Umweltszenarien betrachtet werden können, soll an dieser Stelle zunächst kurz das betrachtete Planungsproblem umrissen werden:

In zukünftigen elektrischen Netzen ist ein Paradigmenwechsel bezüglich der Steuerung der Erzeugung (und in Zukunft auch des Verbrauchs) zu erwarten, um die enorme Vielzahl kleiner, verteilter und individuell konfigurierter Anlagen (Photovoltaik, BHKW, Windenergiekonverter, usw.) und ihre fluktuierenden Lastprofile zu beherrschen (Sonnenschein et al. 2011). Erwartet wird, dass in einem Selbstorganisationsansatz einzelne Einheiten durch Agenten vertreten sich selbsttätig zu aktiven Koalitionen zusammenfinden, um sowohl Wirkleistungs- als auch Systemdienstleistungsprodukte marktbasierend zu handeln (Nieße et al. 2012; Sonnenschein et al. 2012).



Das Planungsproblem, welches hier vorrangig betrachtet werden soll, lässt sich wie folgt beschreiben: Eine heterogene Menge von steuerbaren, dezentralen Erzeugern (bspw. Mikro-KWK Anlagen) und steuerbaren Verbrauchern (bspw. adaptive Kühlgeräte) soll in enger Zusammenarbeit mit (in den Verbund) integrierten Speichern ihre individuellen Fahrpläne für einen gegebenen Zeithorizont so aufeinander abstimmen, dass der Summenlastgang einen gewünschten Wirkleistungsverlauf annimmt. Einschränkungen bzgl. der Realisierbarkeit einzelner Fahrpläne müssen hierbei ebenso berücksichtigt werden wie individuelle Präferenzen und die Kosten oder der Nutzen der einzelnen Alternativen für die jeweiligen Einheiten. Zu diesen Kosten sind in umweltfreundlichen Koordinationsansätzen auch die unterschiedlichen Umweltauswirkungen der beteiligten Einheiten zu zählen.

Der Suchraum, in dem nach dem Optimum gesucht wird ergibt sich durch die Überlagerung der einzelnen Handlungsspielräume der verschiedenen Einheiten. Der Begriff Handlungsspielraum bezeichnet hierbei die Menge der verschiedenen, alternativen Lastgänge (Erzeugung und/oder Verbrauch), die eine Einheit für einen gegebenen Zeitrahmen fahren könnte ohne hierbei gegebene Restriktionen (Leistungsbeschränkungen, Pufferspeicherfüllstand o.ä.) zu verletzen. Jeder dieser alternativen Lastgänge wird unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt nach sich ziehen. Daher erlaubt ein solcher Handlungsspielraum auch immer die Entscheidung für eine umweltfreundlichere Variante im Rahmen des Produktdesigns beim Aufbau des Gesamtlastgangs.

Dieser Raum realisierbarer, alternativer Lastgänge muss im Rahmen einer verteilten Optimierung möglichst allen am jeweiligen Verfahren beteiligten Einheiten in geeigneter Form zur Verfügung stehen, da er Teil des Gesamtsuchraums ist. Das gleiche gilt für die Zuordnung von privaten Indikatoren (z. B. Kosten oder Präferenzen aber eben auch Umweltindikatoren) zu den verschiedenen Lastgängen. Andernfalls sind globale Optimierungsziele kaum zu erreichen. Im Rahmen dezentraler Verfahren entsteht zudem die Frage, wie der hierfür notwendige Kommunikationsaufwand minimiert werden kann. Derzeitige Ansätze gehen davon aus, dass ein solcher Verbund von Einheiten in Smart Grid Szenarien keine dauerhafte Einrichtung (wie beispielsweise die klassischen virtuellen Kraftwerke) ist, sondern sich dynamisch mittels Selbstorganisation zur einmaligen Aufgabenerfüllung zusammenfindet (Nieße et al. 2012). Anschließend reorganisiert sich der Gesamtpool aller Einheiten neu und findet sich erneut zu Verbänden für weitere Wirkleistungsplanungen in einem gemeinsamen Markt zusammen. Dies bedeutet aber auch, dass ständig Einheiten – oder genauer: Agenten, welche diese Einheiten informationstechnisch vertreten – zusammenarbeiten, welche sich möglicherweise unbekannt sind, sich aber dennoch über individuelle Umwelteffekte austauschen müssen, um als globales Ziel die Gesamtminimierung von negativen Umweltauswirkungen zu erreichen.

Die Fragestellung nach der idealen Arbeitsteilung bei der Wirkleistungsbereitstellung innerhalb eines (volatilen oder statischen) Verbundes von Einheiten und somit die Frage nach der optimalen Aufteilung eines Gesamtlastgangs auf Fahrpläne für die einzelnen Einheiten wirft verschiedene Detailfragen auf. Die Aufteilung der Fahrpläne muss so erfolgen, dass die technischen Rahmenbedingungen jeder einzelnen Einheit bzgl. der

Realisierbarkeit gewahrt werden. Um dies zu erreichen, ist in allen bekannten Ansätzen eine zentrale Modellierung in die Optimierung integriert. Ein solches Vorgehen hat aber einige Nachteile:

- Änderungen im Profil einer Einheit ziehen Änderungen im zugehörigen Modell nach sich. Im zentralen Fall ist hiervon auch das Optimierungsmodell betroffen.
- Die Zusammensetzung eines Verbundes von dezentralen Einheiten kann nicht dynamisch verändert werden ohne auch Änderungen am zentralen Modell vorzunehmen.
- Die direkte Integration einer großen Anzahl von Einheitenmodellen in die Optimierung ist problematisch in Bezug auf die Performanz.
- Eine zentrale Modellierung erlaubt schwerlich eine individuelle Abschätzung der Umweltwirkung basierend auf aktuellen (vor Ort) Gegebenheiten.

Einen eleganten Ansatz bietet hier die dezentrale Modellierung der Einheiten. Bei einem solchen Ansatz werden die Mengen von realisierbaren Lastgängen, die eine Einheit als Alternativen jeweils anbieten kann, durch ein Meta-Modell des Zustandsraums der Lastgänge und seiner Constraints beschrieben. Dieses Vorgehen bietet diverse Vorteile:

- Jede (neue) Einheit, die eine solche standardisierte Modellierung verwendet, kann einschließlich mitmodellierter Kennzahlen (on-the-fly) in ein hierauf arbeitendes Optimierungsprotokoll integriert werden.
- Während der Optimierung müssen keine individuellen Einheitenconstraints mehr berechnet werden; diese sind in dem Meta-Modell bereits implizit enthalten.
- Die dezentrale Modellierung erleichtert die Verwendung verteilter Optimierungsverfahren.
- Eine dezentrale Einheitenmodellierung verteilt die Rechenlast und führt zu einer deutlichen Steigerung der Performanz während der Optimierung.
- Insbesondere können aber auch Kennzahlen zu den einzelnen Fahrplänen lokal ermittelt und in das Modell integriert werden. Somit stehen auch notwendige Umweltinformationen zur Verfügung.

An dieser Stelle stellt sich zunächst die Frage, welche Umweltkennzahlen in den zuvor skizzierten Planungsszenarien auftreten und eine Rolle spielen. Viele Kennzahlen lassen sich direkt oder indirekt auf die Effizienz der Betriebsweise und damit auf den Primärenergieeinsatz zurückführen. Ob dies jedoch die Verwendung der Effizienz als gemeinsame Kennzahl erlaubt ist noch fraglich. Inwieweit hieraus beispielsweise Treibhausgasemissionen abgeleitet werden können, ist auch individuell zu ermitteln. Als zweite große Gruppe kommen Nachhaltigkeitskennzahlen für soziale bzw. gesundheitliche Aspekte z. B. durch Lärmemissionen o. ä. in Betracht.

Im Folgenden sollen einige Beispiele für typische Umweltfaktoren näher beschrieben werden.

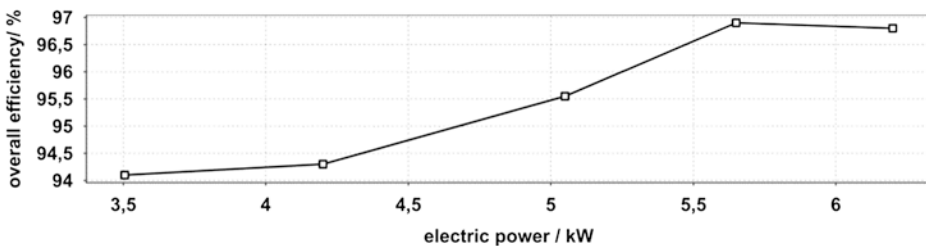
**Statische Verluste** sind Verluste aus Speichern infolge unvollständiger Isolierung. Ein solcher Effekt ist vor allem bei thermischen Speichern zu beobachten. Durch das Temperaturgefälle zur Umwelt geht durch die Isolierung stetig Energie verloren. Dies gilt für Warmwasserspeicher bei einem BHKW ebenso wie bei zusätzlich heruntergekühlten Gefrieranlagen.

**Umwandlungsverluste** entstehen immer dann, wenn eine Energieform in eine andere umgewandelt wird. Dies ist beispielsweise bei der Zwischenspeicherung der Fall. Ein Speicher hat nie 100 % Wirkungsgrad, daher geht sowohl beim Laden eines Speichers Energie verloren (z. B. Verluste beim Pumpen in ein Speicherkraftwerk) als auch bei der Rückwandlung in elektrische Energie beim Entladen.

**Variable Effizienz** kommt bei unterschiedlicher Betriebsweise ebenfalls zum Tragen. Als Beispiel hierfür mag eine modulierende Mikro-KWK Anlage dienen. Ein Beispiel für eine Kennlinie einer leistungsabhängigen Gesamteffizienz ist in der nachfolgenden Abb. 4.1 dargestellt.

Der Vorteil einer solchen Anlage ist, dass sie mit unterschiedlichen elektrischen Leistungsstufen betrieben werden kann und sich somit sehr gut bedarfsgerecht steuern lässt. Allerdings führt ein Betrieb unterhalb Maximallast zu einer geringeren Effizienz und damit mehr Primärenergieeinsatz (CO<sub>2</sub>-Emissionen). Unterschiedliche Modelle weisen auch unterschiedliche Kennlinien auf, sodass durch geschickte Aufteilung der Gesamtlast auf die Einheiten ein verringerter Primärenergieverbrauch bei gleichem Gesamtlastgang erreicht werden kann.

**Erhöhter Verschleiß** spielt häufig bei fluktuierender Betriebsweise eine Rolle. Ein Beispiel hierfür sind zusätzliche (Kalt-)Starts eines BHKW verursacht durch mehrfach unterbrochenen Betrieb. Dies führt neben einem erhöhten Verbrauch (durch mehrfaches Anlassen und Warmlaufen) zu einem erhöhten Betriebsmittelverbrauch (z. B. Schmiermittel) und ggf. auch zu vorzeitigem Verschleiß und vorzeitig notwendig werdenden Wartungen (Thomas 2007). Während letzteres (ohnehin schwierig zu quantifizieren) eher den monetären Zusatzkosten zuzurechnen ist, gehört ersteres in die Kategorie Ineffizienz und hat



**Abb. 4.1** Zusammenhang zwischen Gesamteffizienz und Leistungoutput; nach (Thomas 2007), verändert

Umweltwirkung. Als Kennzahl böte sich hier ein Faktor an, welcher im Nachgang während der Optimierung zu einer Minimierung solcher Fluktuationen im Betrieb führt.

Dies sind nur einige einführende Beispiele. Betrachtet werden müssen in diesem Zusammenhang gegebenenfalls auch energetische Betrachtungen der IT sofern sich Prozesse in ein Energiemanagement integrieren lassen. Zudem können neben konkreten Indikatoren könnten auch Äquivalenzen oder Auswirkungen auf die Wirksamkeit betrachtet werden.

Alles in allem sind mögliche Umweltwirkungen häufig speziell für einen bestimmten Typ Anlage typisch und gegebenenfalls auch für die individuelle technische Einbettung einer Einheit vor Ort. Die Berechnung solcher Kennzahlen ist deshalb am einfachsten durch die auf die Einheit spezialisierte Modellierung der Anlage durch den kontrollierenden Agenten vorzunehmen; wodurch sich die Notwendigkeit der Kommunikation im Rahmen der Algorithmen bereits ableitet. Generell fehlt es derzeit aber an umfangreichen Erhebungen zu Modell-spezifischen Umweltkennzahlen für verschiedene Typen und Systeme.

Ein zusätzliches Problemfeld ergibt sich möglicherweise durch die fluktuierende, kontinuierliche Reorganisation der Verbünde. Die kurzfristig betrachtete Betriebsweise einer Einheit für die nähere Zukunft hat höchstwahrscheinlich auch Einfluss auf die Möglichkeiten (Freiheitsgrade der Einheit) danach und somit auch auf erreichbare Minimierungen negativer Auswirkungen über längerfristige Zeiträume. Anders gesagt, sollten Umweltkennzahlen für solche Einheiten immer Einheiten-spezifisch berechnet werden und beispielsweise auch Verluste berücksichtigen, die erst später in den nachfolgenden Verbänden zum Tragen kommen. Andernfalls würde z. B. das besonders starke Herabkühlen eines Gefrierhauses für den aktuellen Verbund nur teilweise berücksichtigt, da statische Verluste erst für den nächsten Verbund zum Tragen kommen. Dies ist im Übrigen speziell eine Eigenschaft der Nachhaltigkeitskennzahlen. Eine verbundübergreifende Betrachtung sollte definitiv Bestandteil zukünftiger Arbeiten sein.

---

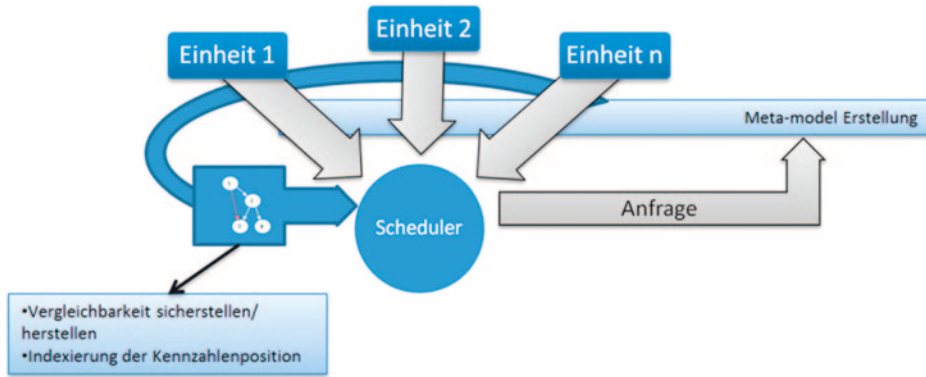
## 4.4 Integration in die Optimierung

Abschließend muss an dieser Stelle noch der konkrete Einbezug kommunizierter Umweltindikatoren in den Optimierungsprozess diskutiert werden.

### 4.4.1 Integration auf algorithmischer Ebene

Ein Vorgehen zur prinzipiellen Integration in das Vorgehen bei der Lastplanung wurde in (Bremer et al. 2011b) bereits vorgestellt. Abb. 4.2 gibt einen Überblick über den Prozess inklusive Ontologieerweiterung nach (Bremer 2012) für den zentralistischen Fall. Das Grundprinzip ist aber unverändert auf verteilte und auf selbstorganisierte Ansätze übertragbar.

Ein üblicher Ablauf wird die folgenden Schritte beinhalten: Jeder Agent erstellt zunächst ein Suchraummodell für die von ihm verantwortete Einheit anhand eines Verhaltensmodells, welches Vorhersagen über die Durchführbarkeit von Fahrplänen



**Abb. 4.2** Ontologie-basierte Kodierung und Übertragung von DER-Umweltkennzahlen

und somit die Erstellung einer Trainingsmenge erlaubt. Für jeden dieser Fahrpläne, die für das Training des Suchraummodells verwendet werden, können zunächst individuelle, Einheiten-spezifische (Umwelt-)Kennzahlen je Fahrplan berechnet werden. Mit der Trainingsmenge kann sodann das Modell trainiert werden (durch Supportvektor Domain Description), wodurch sowohl der Unterraum der realisierbaren Lastgänge (Funktions-Domain des Einheitenmodells) als auch der funktionale Zusammenhang zwischen Fahrplan und den Kennzahlen gelernt und im Modell kodiert werden kann. Gleiches gilt für andere Kennzahlen und Kostenarten.

Anschließend existiert je Einheit ein Suchraummodell, welches sehr effizient Lösungskandidaten (realisierbare Fahrpläne) für ein (prinzipiell) beliebiges Optimierungsverfahren liefert. Auch für die Koalitionsbildung sind diese Informationen bereits dienlich. Zu jedem Fahrplan steht eine Menge von Kennzahlen zur Verfügung, die in der Zielfunktion des Verfahrens individuell als Nebenbedingung verwendet werden kann. Somit wird es möglich, vordringlich das eigentliche Optimierungsziel (möglichst genau die notwendige Wirkleistung erreichen) zu bearbeiten, aber aus der Paretofront diejenige Wirkleistungslösung zu wählen, welche zudem die am wenigsten negative Umweltwirkung hat.

Ein solches Modell erlaubt zwar je Suchraum (z. B. für einen Tag oder auch für kürzere Wirkleistungsproduktzeiträume) lediglich eine 1:1 Beziehung zwischen Lastgang und der Menge der kodierten Umweltkennzahlen, da Lastgang und zugehörige Kennzahlen in einem gemeinsamen Vektorraum definiert sind, einheiten- und suchraumübergreifend sind jedoch verschiedene Kennzahlenmengen möglich. Jede Einheit kann eine eigene (Teil-)Menge von Kennzahlen kommunizieren und diese auch individuell variieren, falls notwendig.

#### 4.4.2 Abgeleiteter Forschungsbedarf

Für die Zukunft scheint es somit vordringlich, zunächst die folgenden Fragen anzugehen. Ziel soll es ja sein, die negative Gesamtumweltwirkung eines Verbundes von verschiedenen Einheiten (dauerhaft) zu minimieren. Vordringlich ist hierbei die

Wirkung durch die Planung. Hiervon unbeeinflusste Wirkung welche durch die bloße Bereitstellung der Leistung verursacht wird, sollte separat für die Verbundbildung berücksichtigt werden. Eine andere Sichtweise wäre die Minimierung negativer Einflüsse jeder einzelnen Anlage, was aber lediglich eine Unterscheidung auf Modellierungsebene, nicht aber auf Zielebene ist. Welcher Ansatz letztlich die größeren Potenziale bietet, kann ohne eingehendere Simulationsstudien schwerlich entschieden werden.

Wie bereits gesehen, treffen nicht alle Kennzahlen auf alle Einheiten zu, oder sind zumindest Anlagen-spezifisch angepasst. Hier stellt sich noch die Frage, wie verschiedene Kennzahlen entweder auf eine festgelegte Menge von Kennzahlenklassen zurückgeführt oder aber geeignet ineinander umgerechnet werden können, um gemeinsam als Optimierungsziel (oder Menge von Zielen) genutzt werden zu können. Gegebenenfalls müssen zusammen mit den Kennzahlen entsprechende Hinweise zur Integration mit übermittelt werden. Es wäre zudem zu prüfen, inwieweit vorhandene Katalogisierungen bzw. Kategorisierungen von Kennzahlen (z. B. GRI) hierher übertragbar sind.

Mathematisch ist es nicht zwingend erforderlich, dass alle Kennzahlen von allen Einheiten vorliegen müssen; wenn jedoch ein solches Zugeständnis soweit degeneriert, dass beinahe jede Einheit ihre eigenen Umweltnebenziele mitbringt so wird das Problem aufgrund der vielen Nebenziele schwerer lösbar. Hier ist entweder ein geeigneter Kompromiss gefragt oder aber Umweltziele werden nicht als Optimierungsziel sondern als Nebenbedingung einbezogen. Ein Einheitenagent müsste in diesem Fall über einen Filtermechanismus verfügen, der solche Fahrpläne welche gegebene Schranken bei Umweltindikatoren überschreiten von vornherein nicht als Alternativen für den Modelllernmechanismus in Betracht zieht. Hierdurch werden aber Freiheitsgrade für das Hauptziel des Lastausgleichs aufgegeben; ein Nachteil, der vermutlich deutlich schwerer wiegt. Simulationsstudien sind hier erforderlich. Ein Austausch darüber, wie umweltfreundlich die Einheit sich verhalten hat, kann dennoch gewünscht sein. Ein standardisiertes Format ist auch hier erforderlich.

Schließlich stellt sich noch die Frage nach der Prioritätensetzung. Hier kann zum einen eine Gewichtung zwischen verschiedenen Kennzahlen zum Einsatz kommen, zum anderen wäre aber die Aufteilung zwischen möglichst guter Annäherung an den gewünschten Lastgang und Umweltwirkung ebenfalls zu entscheiden. Auch persönliche Präferenzen des Nutzers spielen hier eine Rolle.

---

## 4.5 Fazit

Ziel dieses Artikels war es, einen ersten Überblick über die Problematik der Integration von Umweltkennzahlen innerhalb von Wirkleistungsplanungszenarien im zukünftigen Smart Grid zu geben und die wichtigsten Merkmale zusammenzufassen. Primäres Ziel war die Initiierung einer Diskussion über die Frage, welche Umweltindikatoren in Lastplanungszenarien im zukünftigen Smart Grid kommuniziert werden sollten, um automatisiert in die Algorithmik übernommen zu werden. Welche Umweltwirkungen lassen sich durch verbesserte Lastplanungsoptimierung wie minimieren?

Die Umweltwirkung einzelner Einheiten kann vermutlich als gering angesehen werden. Schließen sich allerdings Verbände mit möglicherweise tausenden solcher Anlagen zusammen, so darf hier sicherlich ein lohnendes Potenzial für die Verbesserung der Umweltbilanz erwartet werden.

**Danksagung** Der Forschungsverbund “Smart Nord” dankt dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur für die Förderung im Rahmen des Niedersächsischen Vorab (ZN 2764).

---

## Literatur

- Bremer J, Rapp B, Sonnenschein M (2011a) Encoding distributed search spaces for virtual power plants. In: IEEE Symposium Series in Computational Intelligence 2011 (SSCI 2011), Paris, France
- Bremer J, Rapp B, Sonnenschein M (2011b) Including environmental performance indicators into kernel based search space representations. In Information Technologies in Environmental Engineering (ITEE 2011)
- Bremer J (2012) Ontology based description of DER's learned environmental performance indicators. In: von Brian Donnellan, Peças Lopes J, Martins J, Filipe J (Hrsg) Proceedings of the 1st international conference on Smart Grids and Green IT Systems – SmartGreens, April 2012. SciTePress, Porto, Portugal, S 107–112
- Dada A, Staake T, Fleisch E (2010) Reducing environmental impact in procurement by integrating material parameters in information systems: The example of apple sourcing. In AMCIS 2010 Proceedings
- Hřebíček J, Misařová P, Hyršlová J (2007) Environmental key performance indicators and corporate reporting. In: Environmental accounting and sustainable development indicators (EA-SDI 2007) Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, S 978–980
- Meyerholt D, Marx Gómez J, Dada A, Bremer J, Rapp B (2010) Bringing sustainability to the daily business: The oepi project. In Proceedings of the Workshop “Environmental Information Systems and Services – Infrastructures and Platforms”
- NETL (2011) Environmental impacts of Smart Grid. Technischer Report DOE/NETL-2010/1428. National Energy Technology Laboratory, Office of Strategic Energy Analysis and Planning, Januar 2011
- Nieße A, Lehnhoff S, Tröschel M, Uslar M, Wissing C, Appelrath H-J, Sonnenschein M (2012) Market-based self-organized provision of active power and ancillary services: an agent-based approach for smart distribution grids. In 2012 IEEE workshop on complexity in engineering (IEEE COMPENG 2012), Aachen
- Nitsch J, Krewitt W, Nast M, Viebahn P, Gärtner S, Pehnt M, Reinhardt G, Schmidt R, Uihlein A, Barthel C, Fishedick M, Merten F (2004) Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsbericht FKZ 901 41 803. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal
- Peters W, Morkel L, Köppel J, Köller J (2007) Berücksichtigung von Auswirkungen auf die Meeresumwelt bei der Zulassung von Windparks in der Ausschließlichen Wirtschaftszone. Endbericht eines Forschungsvorhabens, gefördert aus Mitteln des Bundesumweltministeriums (FKZ 0329949). Unter Mitarbeit von Wippel K, Hagen Z, Treblin M, mit einem Beitrag von Bach L, Rahmel U