



**ETA-SOLUTIONS**  
ENERGIESYSTEMPLANUNG

# LEITFADEN: MONITORING VON ENERGIEEFFIZIENZMAßNAHMEN



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

## Autoren

Mark Helfert  
Dr. Philipp Schraml

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Dieser Leitfaden wurde im Auftrag des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der Technischen Universität Darmstadt im Rahmen des Projekts ETA-Transfer erstellt.

---

## Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Normativer Rahmen</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Konzeptionierung und Aufbau eines Energiemonitoringsystems</b>	<b>10</b>
	<i>3.1 Zieldefinition</i>	<i>10</i>
	<i>3.2 Ist-Stand-Analyse</i>	<i>11</i>
	<i>3.3 Konzeptionierung</i>	<i>11</i>
	3.3.1 Messtellenmethodik und -auswahl	12
	3.3.2 Messtechnik	16
	3.3.3 Datenaustausch und Datenverarbeitung	17
	<i>3.4 Aufbau und Inbetriebnahme</i>	<i>19</i>
	<i>3.5 Betrieb des Energiemonitoringsystems</i>	<i>20</i>
<b>4</b>	<b>Datenauswertung und Ableiten von Effizienzmaßnahmen</b>	<b>21</b>
	<i>4.1 Datenauswertung mittels Lastgang und Dauerlinie</i>	<i>21</i>
	<i>4.2 Kennzahlenbildung</i>	<i>24</i>
	<i>4.3 Einflussfaktoren am Beispiel der Witterungsbereinigung von Messdaten</i>	<i>24</i>
	<i>4.4 Ableiten von Energieeffizienzmaßnahmen</i>	<i>25</i>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>26</b>

# 1 Motivation

Das detaillierte Wissen über den Energiebedarf sollte die Ausgangsbasis einer jeden Energieeffizienzmaßnahme in einem produzierenden Unternehmen sein, denn nur so lassen sich einzelne Maßnahmen bewerten, zueinander priorisieren und nach der Umsetzung evaluieren. Unternehmensintern können Energiedaten aber noch eine Vielzahl an weiteren Funktionen einnehmen. Ein Überblick über diese Funktionen kann Abbildung 1-1 entnommen werden.

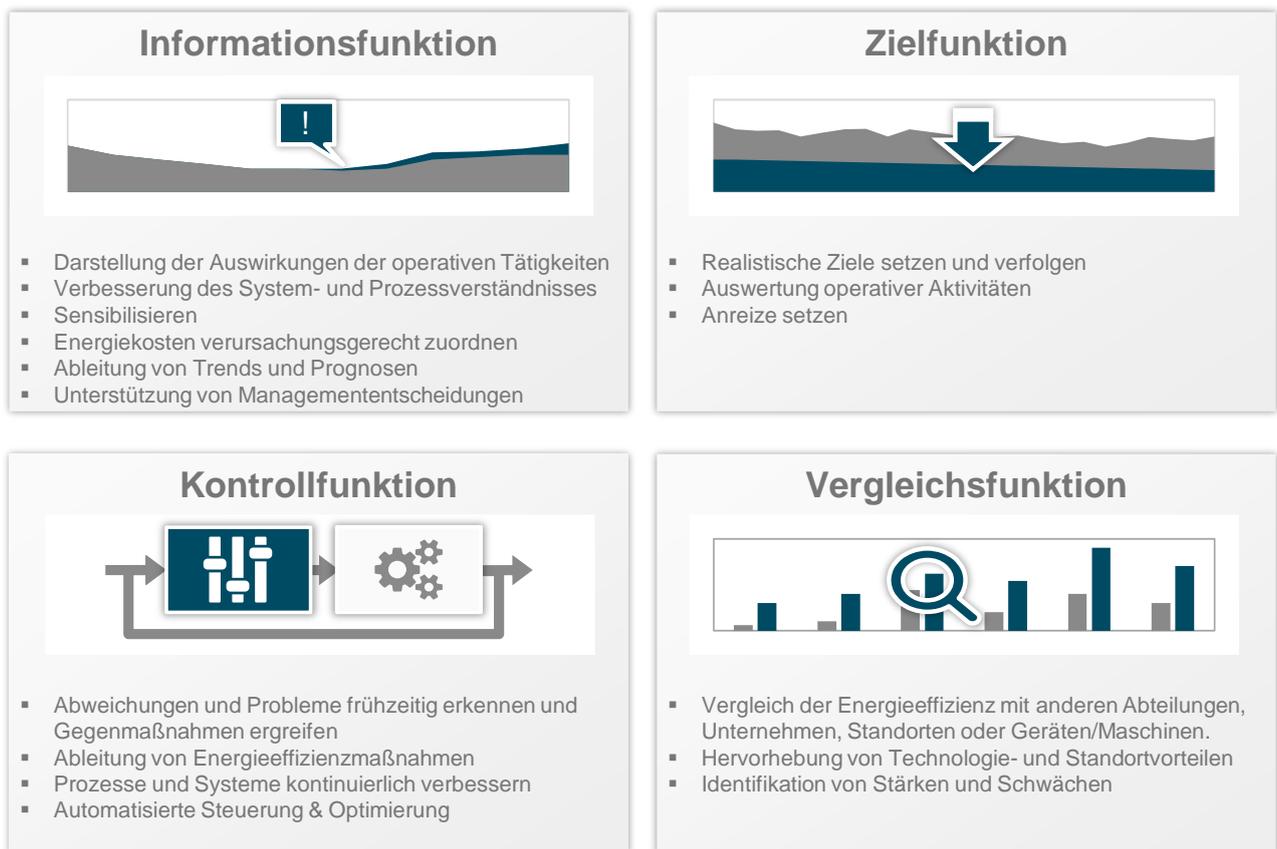


Abbildung 1-1: Unternehmensinterne Funktionen von Energiedaten (Weigold 2020)

Zur Erhebung von Energiedaten können Energiemonitoringsysteme genutzt werden. Neben den dargestellten unternehmensinternen Funktionen, die ein Energiemonitoringsystem bereitstellt, bietet dieses auch weitere Vorteile hinsichtlich der Befreiung von Umlagen und Steuern. Beispielsweise können Unternehmen entweder besondere Ausgleichsregelungen in Anspruch nehmen oder als Eigenerzeuger von einer reduzierten EEG-Umlage profitieren. Hierfür sind Erzeugung und Verbrauch normgerecht zu erfassen. Der „Leitfaden zum Messen und Schätzen bei EEG-Umlagepflichtigen“ der Bundesnetzagentur beschreibt die gesetzlichen Regelungen zum Messen und Schätzen von Stromverbräuchen und gibt praktische Beispiele dazu. (Bundesnetzagentur 2020).

Für Inanspruchnahme des Spitzenausgleichs zur Senkung der Strom- und Energiesteuerlast, müssen energieintensive Unternehmen den Betrieb eines Energiemanagementsystems (EnMS) nach ISO 50001 oder eines Umweltmanagements nachweisen.

### **Problemstellung: Messen, Auswertung und Visualisieren**

Ausgehend von der zu messenden Energieform, dem dafür notwendigen Sensor, die Verkabelung und datentechnische Anbindung dieses Sensors bis hin zur Datenauswertung und Visualisierung gibt es eine Vielzahl an Fragestellungen und Hürden zu überwinden.

Der vorliegende Leitfaden soll Anwender\*innen dabei unterstützen, eine einzelne Messaufgabe bis hin zum gesamten Energiemonitoringsystem für das eigene Unternehmen zu konzeptionieren, umzusetzen und aus den Erkenntnissen Energieeffizienzmaßnahmen abzuleiten.

Weitere Zielstellungen eines Energiemonitorings können sein:

- CO<sub>2</sub>-Bilanzierung zur Reduktion der energiebedingten Emissionen,
- Transparenzschaffung,
- Mitarbeiter sensibilisieren, ...



Abbildung 1-2: Einordnung von Energiemonitoring, -controlling und -management (innogy 2021)

## 2 Normativer Rahmen

Bei der Einführung eines Energiemonitorings im Unternehmen gibt es eine Vielzahl an Vorgaben, die einzuhalten sind und Empfehlungen, die bei der Einführung und dem Betrieb unterstützen können. Nachfolgend werden Normen und Richtlinien in diesem Kontext aufgeführt sowie deren Relevanz eingeordnet. Im Rahmen dieses Leitfadens wurden die Definitionen nach ISO 50001 verwendet.

Das Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G) wurde 2010 eingeführt mit dem Ziel die Effizienz der Energienutzung in Deutschland zu steigern. Unternehmen in Deutschland, mit Ausnahme von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), werden durch das EDL-G verpflichtet regelmäßig (ab 2015 alle 4 Jahre) ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchzuführen oder ein Energiemanagement nach ISO 50001 bzw. ein Umweltmanagement nach EMAS (<https://www.emas.de/managementsysteme>) einzuführen.

Ziel eines Energiemanagementsystems nach ISO 50001 ist die kontinuierliche Verbesserung der energiebezogenen Leistung eines Unternehmens. ISO 50001 beschreibt die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem, welches sowohl eigenständig als auch in bestehende Managementsysteme (bspw. Umweltmanagementsystem nach ISO 14001, Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001) integriert werden kann. Die Einführung eines Energiemanagementsystems schafft Transparenz über die Energieströme im Unternehmen und trägt zur systematischen Verbesserung des Energieverbrauchs und somit zur Reduzierung von Energiekosten sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Bestandteile der Norm sowie deren Einordnung im PDCA-Zyklus kann Abbildung 2-1 entnommen werden.

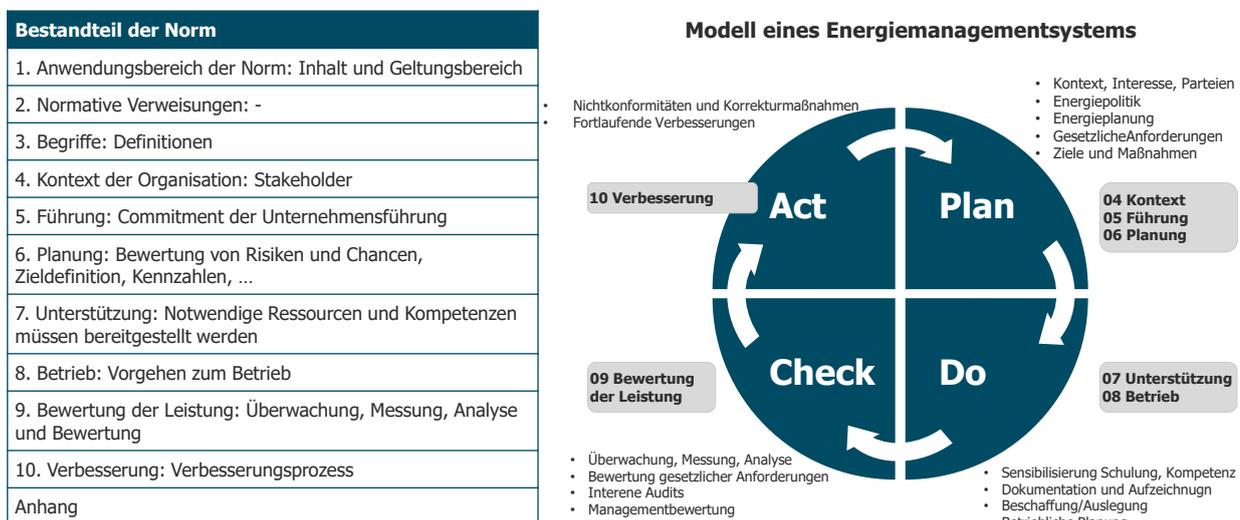


Abbildung 2-1: Bestandteile der ISO 50001:2018

Die Normen DIN EN 16247 sowie ISO 50002 legen Anforderungen an die Qualität von Energieaudits fest. Ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 deckt bereits die wichtigsten Bestandteile eines Energiemanagementsystems nach ISO 50001. Der Auditbericht kann

somit als Ausgangspunkt für eine tiefere Betrachtung der Energieflüsse sowie dem Aufbau einer Monitoring-Struktur im Unternehmen genutzt werden. Die einzelnen Schritte sowie das Zusammenwirken der beiden Normen stellt Abbildung 2-2 anschaulich dar.

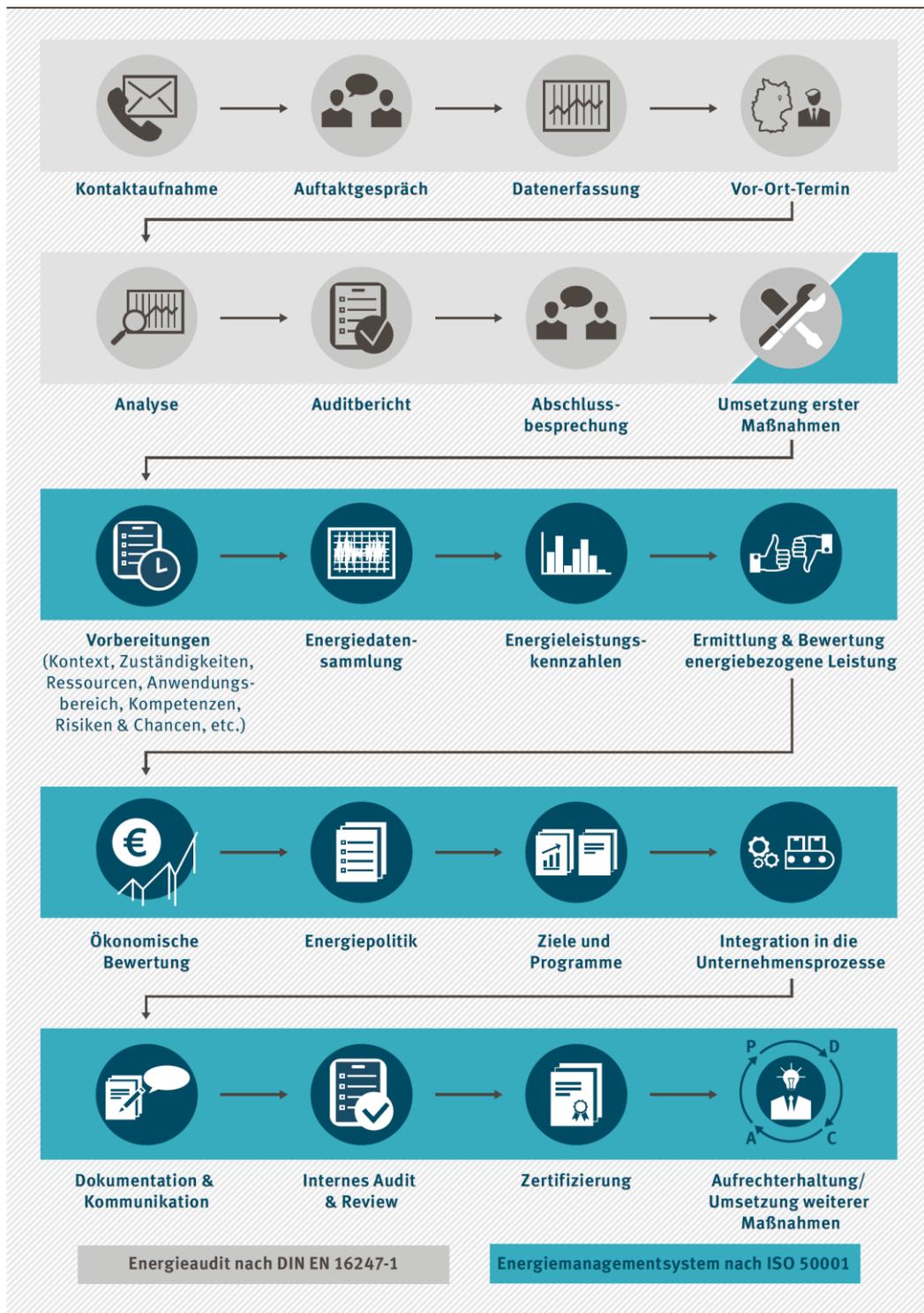


Abbildung 2-2: Das Energieaudit nach DIN EN 16247-1 als Grundlage für ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 (Anton Barckhausen, Juliane Becker, Peter Malodobry 2019, aktualisierte Version vom 2020 (Praxistipps S. 94 und 95), p. 12)

Die beschriebenen sowie weitere wichtige Normen und Richtlinien sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt und hinsichtlich deren Relevanz für ein Energiemanagementsystem sowie der Anwender\*innen eingeordnet.

Tabelle 2-1: Normen und Richtlinien mit Relevanz für Energiemanagementsysteme (Auszug)

Norm	Relevanz für Energiemanagementsystem	Relevant für
<b>DIN EN ISO 50001 - Energiemanagementsystem</b> Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Zentrale Norm</b> zum Aufbau, Betrieb und zur Zertifizierung des EnMS im Unternehmen (Zertifizierungspflicht seit 2015 oder EMAS-Eintrag, nicht für KMUs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ produzierende und dienstleistende Unternehmen</li> </ul>
<b>DIN ISO 50006 Energiemanagementsysteme</b> - Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von EnB und EnPI – Allgemeine Grundsätze und Leitlinien	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Methodik zur <b>Ermittlung von Energiekennzahlen</b> zur ganzheitlichen Überwachung der Energieeffizienz im Unternehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ produzierende und dienstleistende Unternehmen</li> </ul>
<b>DIN ISO 50015 Energiemanagementsysteme</b> - Messung und Verifizierung der energiebezogenen Leistung von Organisationen - Allgemeine Grundsätze und Leitlinien	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Messstellenkonzepte, Einführung und Durchführung von <b>Messungen</b>, Dokumentation; Datenerfassungsplan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ produzierende und dienstleistende Unternehmen</li> </ul>
<b>ISO 50047 Energieeinsparungen</b> - Bestimmung von Energieeinsparungen in Organisationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Berechnung von Energieeffizienzmaßnahmen nach „top-down“ und „bottom-up“ Ansatz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ produzierende und dienstleistende Unternehmen</li> </ul>
<b>DIN EN 16247-1 Energieaudits</b> - Teil 1: Allgemeine Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Norm für qualitative gute <b>Energieaudits</b>. Verpflichtend für Energieauditpflicht nach EDL-G (Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ produzierende und dienstleistende Unternehmen</li> </ul>
<b>DIN EN ISO 14001 - Umweltmanagementsystem</b> Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Zentrale Norm</b> zum Aufbau, Betrieb und Zertifizierung eines UMS; Anknüpfungspunkte zu Umweltmanagement, Ökobilanzen, Umweltkennzahlen und -bewertungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ produzierende und dienstleistende Unternehmen</li> </ul>
<b>EMAS</b> (Eco-Management and Audit Scheme) Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung der EU („EU-Öko-Audit“)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Berechtigung für Fördergelder und Steuererleichterungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben.</li> </ul>
<b>VDI 2166 Planung elektrischer Anlagen</b> in Gebäuden – Grundlagen des Energiecontrollings	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lebenszykluskosten von Gebäuden hinsichtlich des elektrischen Verbrauchs: u.a. Messtechnik und dazugehörige Messkonzepte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technische Gebäudeausrüstung</li> </ul>

<b>VDI 4661</b> <b>Energiekenngrößen:</b> Grundlagen – Methodik	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Festlegen physikalischer und technischer Begriffe, Definition typischer Kenngrößen, Beispiele</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ betriebliches Energiemanagement, Benchmarking-Projekte</li> </ul>
<b>DIN EN 16001</b> Vorgänger der DIN EN ISO 50001	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bestehende Zertifikate haben zum 24.04.2012 Gültigkeit verloren. Durch Überwachungsaudit meist problemloses Übertragen auf die ISO 50001 möglich.</li> </ul>	
<b>DIN EN 16231</b> Energieeffizienz-Benchmarking-Methodik	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Methodik</b> für die Erhebung und Auswertung von Energiedaten</li> <li>▪ Dient dazu die <b>Energieeffizienz</b> zwischen oder innerhalb von Einheiten zu <b>ermitteln</b> und zu <b>vergleichen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ betriebliches Energiemanagement, Benchmarking-Projekte</li> </ul>

Neben den Normen und Richtlinien sind u.a. folgende gesetzliche Rahmenbedingungen relevant.

*Tabelle 2-2: Gesetze und Verordnungen mit Relevanz für Energiemanagementsysteme (Auszug)*

Gesetze und Verordnungen	Relevanz für Energiemanagementsysteme	Folgen
Erneuerbare-Energien-Gesetz ( <b>EEG</b> )	Ausgleichsregelungen für stromintensive Unternehmen	Steuererleichterungen und Befreiungen für das Unternehmen und dadurch Kosteneinsparungen
Energiedienstleistungsgesetz ( <b>EDL-G</b> )	Verpflichtung zur Durchführung von Energieaudits	
Spitzenausgleich-Effizienzsystem-Verordnung ( <b>SpaEfV</b> )	alternatives System für den Erhalt der Berechtigung zum Spitzenausgleich	
Gebäudeenergiegesetz ( <b>GEG</b> )	legt energetische Anforderungen an beheizte oder klimatisierte Gebäude fest → Energieeinsparungen in Gebäuden	
Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz ( <b>EVPG</b> )	Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit von Produkten verbessern	
BVT-Merkblatt Energieeffizienz	Darstellung des aktuellen Standes der Technik zum Einsatz von Energieeffizienzmaßnahmen	

### 3 Konzeptionierung und Aufbau eines Energiemonitoringsystems

Im Folgenden werden einzelne Schritte der Einführung eines Energiemonitoringsystems, von der Zieldefinition, über die Konzeptionierung, bis zum Aufbau und Betrieb, erläutert.

#### 3.1 ZIELDEFINITION

Der erste Schritt bei dem Aufbau eines Energiemonitoringsystems sollte die Festlegung der übergeordneten Ziele, die mit dem Monitoringsystem erreicht werden sollen, sein. Dieser Schritt ist essenziell, da sich aus den Zielen wiederum im Wesentlichen die Anforderungen an die Datenerfassung ergeben:

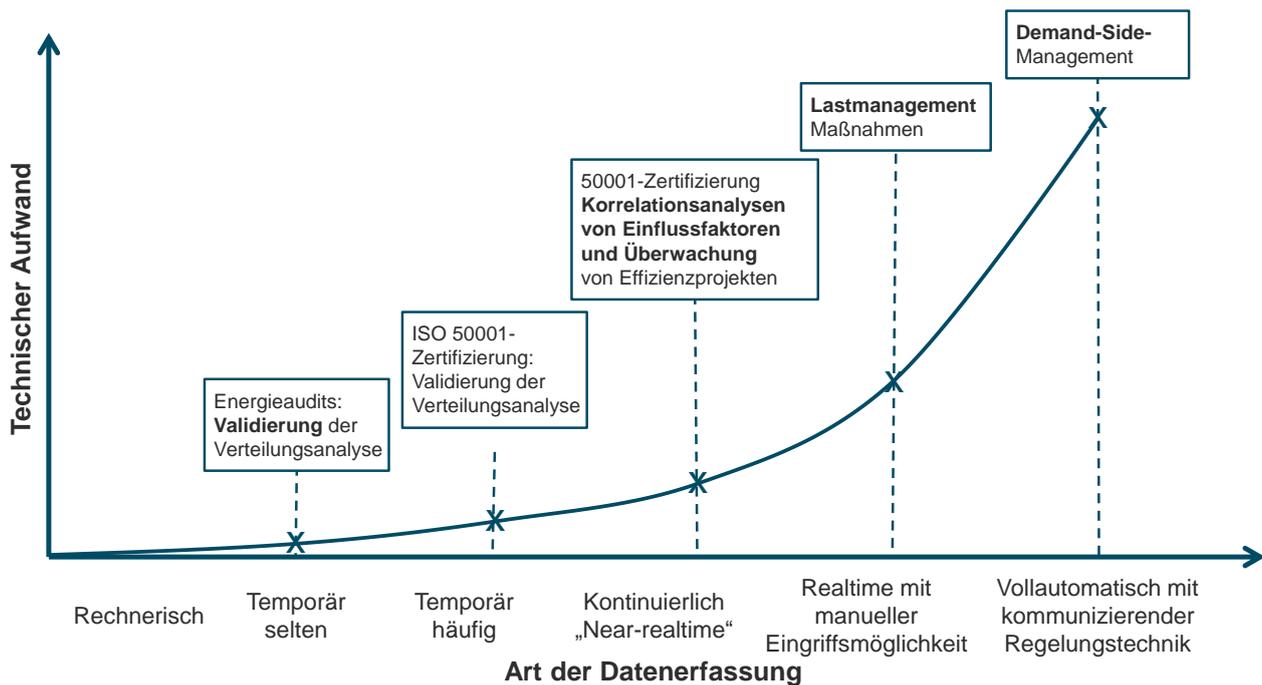


Abbildung 3-1: Anforderungen an die Datenerfassung eines Energiemonitoringsystems (Weigold 2020)

Soll bspw. die Wirksamkeit einer einzelnen Maßnahme an einer Produktionsmaschine überprüft werden, so bietet sich eine temporäre mobile Messung an.

Soll wiederum ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 eingeführt werden, so sind temporären Messungen bei relevanten Verbrauchern mit statischem Lastgang und kontinuierliche Messungen bei relevanten fluktuierenden Verbrauchern notwendig.

**Die Zielstellung an ein Energiemonitoringsystem definiert die Art der Datenerfassung**

Soll der Lastgang einer Anlage für ein Lastmanagement überwacht werden, so sollte dies mit stationärer Messtechnik und hochfrequenter Datenerfassung (Sekundentakt) erfolgen.

### 3.2 IST-STAND-ANALYSE

Nach der Zieldefinition ist der nächste Schritt die Ist-Stand-Analyse der bestehenden Messinfrastruktur, frei nach dem Motto „Was habe ich – was brauche ich“:

- Was wird bereits wie gemessen?
- Welche IT-Systeme gibt es ggf. bereits?
- Welche BUS-Systeme werden bereits genutzt?
- Welche Energieträger und -formen sind relevant?
- Welche Umgebungsbedingungen muss ich beachten?

Die gewonnenen Informationen bilden die Grundlage für die Konzeptionierung des Energiemonitoringsystems, wie es im nächsten Unterkapitel beschrieben wird.

### 3.3 KONZEPTIONIERUNG

Der Prozess der Planung, Messung, Datenerfassung, Analyse, Verifizierung und Berichterstattung zur Optimierung energetischer Systeme ist in DIN ISO 50015 beschrieben.

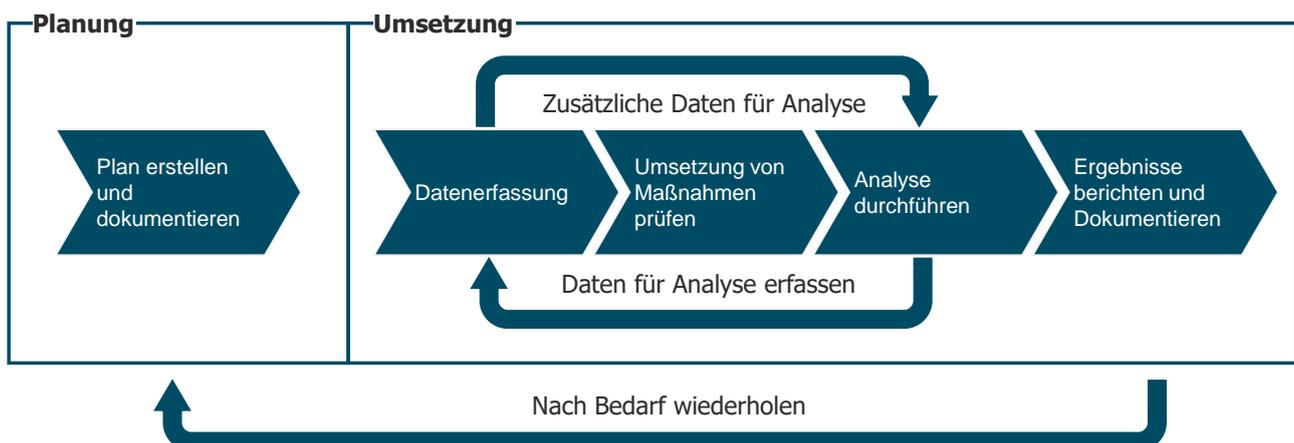


Abbildung 3-2: Vorgehen zur Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Optimierung des Energiebedarfs nach DIN ISO 50015

Grundlage für die Planung der Datenerfassung ist nach DIN ISO 50015 der so genannte Datenerfassungsplan, welcher eine Übersicht über die zu erfassenden Messgrößen und die dafür notwendige Messtechnik liefert. Ein beispielhafter Datenerfassungsplan ist Tabelle 3-1 zu entnehmen. Darüber hinaus können weitere Kriterien, wie bspw. die Datenqualität im Datenerfassungsplan berücksichtigt werden. Eine vollständige Liste möglicher Kriterien ist DIN ISO 50015 zu entnehmen.

Table 3-1: Beispiel eines Datenerfassungsplans

Name Variable	Messgröße	Standort	Gerätebezeichnung	Zuständigkeit	Erfassungshäufigkeit	Art der Messung
Strom_Standort	Elektrische Energie in kWh	Trafo-station 1	EVU-Zähler	Energiemonitoringsoftware	15-Minuten	Integrierend
Druckluft_Halle1	Druckluftmenge in Nm³/h	Keller Halle 1	FirmaXYZ_Sensorname	Energiemonitoringsoftware	15-Sekunden	Punkt-messung

Der Datenerfassungsplan gibt eine gute Übersicht über Kriterien, die bei der Auswahl der Messstellen und Messtechnik beachtet werden sollten. Die relevantesten Punkte werden in den nachfolgenden Kapiteln betrachtet.

Der Datenerfassungsplan ist zudem ein notwendiges Element, wenn für die Messtechnik Fördermittel genutzt werden sollen.<sup>1</sup>

### 3.3.1 Messtellenmethodik und -auswahl

Die Auswahl der eigentlichen Messstellen ist maßgeblich für die Erreichung der definierten Ziele. Das Problem hierbei ist, dass eine Messstelle erst einmal „nur“ Kosten verursacht. So ist die Ertüchtigung eines Messpunktes mit hohen Kosten verbunden. Ausschlaggebend hierfür sind die Kosten für die eigentliche Sensorik, die Installation, die Verkabelung, sowie die Aufschaltung auf eine Energiemonitoringsoftware. Bei dem Aufbau eines Energiemonitoringsystems gilt es also die „relevantesten“ Messstellen zu identifizieren und zu ertüchtigen.

#### Ohne Messtechnik ist ein Energiemonitoring & -management nicht möglich

Die Identifikation und Festlegung von Messstellen sollte stets eine Abwägung zwischen Messaufwand und Einflusspotenzial beinhalten

Grundsätzlich gibt es bei dem Aufbau eines Monitoringsystems zwei Ansätze. Während der **Top-down Ansatz** bspw. ausgehend vom Hauptzähler im Werk, vom „Groben ins Feine“ aufbaut, aggregiert der **Bottom-up Ansatz** Messdaten auf Anlagenebene für übergreifende Aussagen. Die allgemeinen Vor- und Nachteile können Abbildung 3-3 entnommen werden.

<sup>1</sup> Energieeffizienz in der Wirtschaft (Zuschuss) - Modul 3: MSR, Sensorik und Energiemanagement-Software

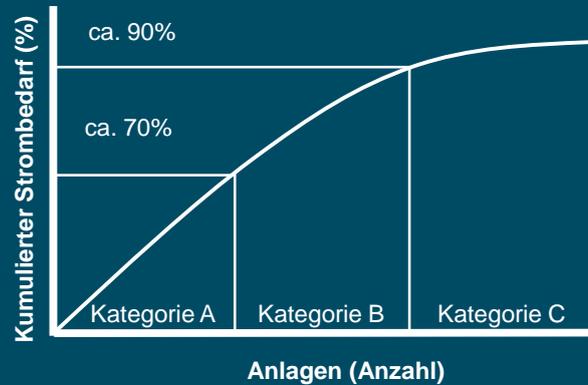


Abbildung 3-3: links: Top-down Ansatz; rechts: Bottom-Up Ansatz (Weigold 2020)

Ist das primäre Ziel des Monitorings die Transparenzschaffung im Unternehmen über die Verteilung und Höhe der Energiebedarfe, so kann eine Mischung beider aufgezeigten Ansätze sinnvoll sein. Mit Hilfe der ABC-Analyse können die relevantesten Anlagen (unter Berücksichtigung bspw. der Nennleistung und der jährlichen Laufzeit) identifiziert werden, welche dann in das Monitoringsystem mit aufgenommen werden sollten. Bei mehreren baugleichen Anlagen kann es ausreichend sein nur eine Anlage mit Messtechnik auszustatten und den Energiebedarf der anderen Anlagen über Laufzeiten und die mittlere Leistungsaufnahme der vermessenen Anlage abzuschätzen. Voraussetzung hierfür ist eine ähnliche Betriebsweise bzw. Verbrauchscharakteristik der Anlagen. Dies kann bei Bedarf mittels einer mobilen Messung überprüft werden.

## ABC-Analyse

- Erstellen einer Rangliste: Von den größten zu den kleinsten Einzelverbrauchern
- Aufteilung von Objekten einer Menge in die Klassen A, B und C
  - Kategorie A: Menge aller Verbraucher, die 70 % der Anschlussleistung ausmachen
  - Kategorie B: Menge aller Verbraucher, die in Summe die nächsten 20 % der Anschlussleistung ausmachen
  - Kategorie C: Menge der Verbraucher, die in Summe den verbleibenden Anteil von 10 % ausmachen



Für Kleinverbraucher bietet sich eine übergreifende Erfassung an.

Die Identifikation und Festlegung von Messstellen sollte dabei stets eine Abwägung zwischen Messaufwand und Einflusspotenzial beinhalten.

### So viel wie nötig, so wenig wie möglich

Häufig wird in diesem Zusammenhang die 3 %-Regel genannt. Diese besagt als Daumenregel, dass für 3 % der jährlichen Energiekosten ein sinnvolles System aufbaubar ist.

Als erster Ansatz bietet sich die Auswertung der sogenannten Registrierenden Leistungsmessung (RLM) an. Ab einer Energieabnahme von 100 MWh/a bei Strom bzw. 1.500 MWh/a bei Erdgas werden bei Unternehmen RLM-Zähler verbaut. Der RLM-Zähler misst den Stromverbrauch alle 15 Minuten bei Strom bzw. alle 60 Minuten bei Erdgas und übermittelt diese Werte an den Netzbetreiber. Diese Werte kann das Unternehmen vom Netzbetreiber anfordern.

Sollen Messdaten einmalig erhoben bzw. soll eine detaillierte Datenbasis für die Auswahl der Messstellen geschaffen werden, so bietet sich die Durchführung einer temporären, mobilen Messung an.

Mobile Messgeräte gibt es für verschiedenste Anwendungsfälle (elektrische Energie, Wärmemengen, Druckluftverbräuche, etc.), allerdings ist die Durchführung nicht immer einfach und sollte nur von entsprechend geschultem Personal durchgeführt werden. Bereits kleine Unachtsamkeiten bei der Installation der mobilen Messgeräte können zu falschen Messwerten führen.

Die wesentlichen Vor- und Nachteile, im Vergleich zur stationären Messtechnik, kann Tabelle 3-2 entnommen werden.

*Tabelle 3-2: Vergleich zwischen mobiler, temporärer und stationärer, kontinuierlicher Messtechnik*

Kriterium	mobil, temporär	stationär, kontinuierlich
<b>Installationsaufwand</b>	niedrig	sehr hoch
<b>Betriebsaufwand</b>	hoch	niedrig
<b>Datenauflösung</b>	nach Bedarf	nach Bedarf
<b>Datenkonsistenz</b>	moderat	sehr hoch
<b>Datenaktualität</b>	moderat	sehr hoch
<b>Flexibilität</b>	hoch	gering
<b>Zielsetzung &amp; Anwendung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstdiagnosen / Potenzialanalysen</li> <li>• Messung spezifischer Energiebedarfe</li> <li>• Überprüfung von EE-Maßnahmen</li> <li>• Detailmessungen / Fehlerdiagnose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langfristige Anlagenüberwachung</li> <li>• Automatische Energiereports &amp; Alarme</li> <li>• Condition- &amp; Process-Monitoring</li> <li>• Automatische Energieflussoptimierung</li> <li>• Frühzeitige Maßnahmenerkennung</li> </ul>

Die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) schlägt als Auswahlkriterium zwischen temporärer mobiler und kontinuierlicher stationärer Messung den Faktor Energiekosten vor. Die entsprechende Empfehlung ist Tabelle 3-3 zu entnehmen.

Tabelle 3-3: Angemessenheit der Energiemessung nach DakkS (Deutsche Akkreditierungsstelle)

Summe der jährlichen Energiekosten	Art der Datenerfassung
bis 10.000 €	Ggf. Nutzung der Registrierenden Leistungsmessung, theoretische Abschätzung
10.000 – 100.000 €	Nutzung der Registrierenden Leistungsmessung, theoretische Abschätzung, Verifizierung durch mobile Messung, ggf. Nachrüstung einzelner stationärer Zähler
100.000 – 1.000.000 €	Nutzung der Registrierenden Leistungsmessung, theoretische Abschätzung, Verifizierung durch mobile Messung, kontinuierliche Messung der Unterverteilungen
über 1.000.000 €	Nutzung der Registrierenden Leistungsmessung, theoretische Abschätzung, Verifizierung durch mobile Messung, kontinuierliche Messung der Unterverteilungen, automatische Datenerfassung und Auswertung

### 3.3.2 Messtechnik

Die eigentliche Messtechnikhardware setzt sich im Wesentlichen aus der **Sensorik**, also dem Teil eines Messsystems, welche die Messgröße erfasst und der entsprechenden **Auswerte-/Automatisierungseinheit**, meist eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), zusammen.

Die Auswahl der Messtechnik hängt von verschiedenen Faktoren ab (in Anlehnung an Hesselbach 2012):

#### 1. Energieträger

Maßgeblich entscheidend für die Wahl der Sensorik ist der zu vermessende Energieträger. Die relevantesten Energieträger bspw. in einer mechanischen Fertigung sind elektrischer Strom, Druckluft, Gase, Wasser bzw. Wasser-Glykol-Gemische.

#### 2. Messgröße

U.a. abhängig vom Energieträger ist die Wahl der Messgröße, um Leistungs- und Energiebedarfe zu bestimmen.

- *Elektrischer Strom*: elektrische Spannung und Stromstärke.
- *Druckluft*: Massenstrom mittels Differenzdruck und Volumenstrom.
- *Gase*: Massenstrom mittels Differenzdruck und Volumenstrom.

- *Fluide*: Thermische Leistung mittels Volumenstrom und Temperaturen im Vor- und Rücklauf.

### 3. **Messbereich**

Jeder Sensor hat einen Messbereich, für den dieser ausgelegt ist. Nur für diesen Bereich gilt die angegebene Genauigkeit. Wird ein Sensor außerhalb des vorgesehenen Messbereichs betrieben, kann es zu Fehlern bis hin zur vollständigen Zerstörung des Sensors kommen.

### 4. **Auflösung**

Die Auflösung eines Messsystems drückt die Fähigkeit aus, zwei benachbarte Werte voneinander unterscheiden zu können. Dies gilt sowohl für die Messgröße als auch die zeitliche Dimension. Die Auflösung sollte entsprechend der Messaufgabe gewählt werden. Momentan-Werte, die bspw. für Lastspitzenglättung oder Condition Monitoring genutzt werden, erfordern eine hohe Auflösung im Sekunden- bis hin zu Millisekunden-Takt. Verbrauchsdaten werden üblicherweise im 1-Minuten bis 15-Minuten-Takt aufgenommen.

### 5. **Genauigkeit**

Die Genauigkeit eines Messsystems gibt die Abweichung zwischen ausgegebenen Wert und dem tatsächlichen Wert der Messgröße wieder. Hierbei wird zwischen *systematischen Fehlern*, wie Eichfehler, Nullpunktfehler, Nichtlinearitäten und *statistischen Fehlern*, wie Ableseungenauigkeit und Fehlern im Messvorgang, unterschieden. Typischerweise steigen die Kosten für Messsysteme mit zunehmender Genauigkeit. So sollte diese ebenso entsprechend der Messaufgabe gewählt werden: Für allgemeine Aussagen zur Energieverteilung sind meist einfachere Messsysteme ausreichend.

### 6. **IKT-Schnittstellen**

Wie sollen die gemessenen Daten aufgezeichnet werden? Die Antwort auf diese Frage bestimmt die notwendige IKT-Schnittstelle. Soll bspw. nur händisch abgelesen werden, ist nur eine Anzeige notwendig. Sollen die gemessenen Daten in eine Monitoringsoftware integriert werden, so gibt die vorhandene Infrastruktur die notwendigen Schnittstellen vor.

## 3.3.3 Datenaustausch und Datenverarbeitung

Für die Kommunikation zwischen Sensoren (ggf. dezentraler Messumformer) bzw. Aktoren sowie der zentralen Auswerte-/Automatisierungseinheit existieren die verschiedensten Feldbusse. Diese zeichnen sich durch unterschiedliche Hardware (Verkabelung, Stecker, etc.) sowie Übertragungsprotokolle aus. Die bekanntesten Feldbusse sind hierbei Profibus, Modbus, M-Bus, BACnet. Neben den klassischen Feldbussen kommen verstärkt auch Ethernet-basierte Protokolle, wie bspw. OPC UA, Profinet und Modbus-TCP, zum Einsatz. Hierbei ist der Vorteil, dass meist auf klassische Netzwerktechnik zurückgegriffen werden

kann, mit der viele Personen bereits Kontakt hatten, was die Verkabelung entsprechend vereinfacht.

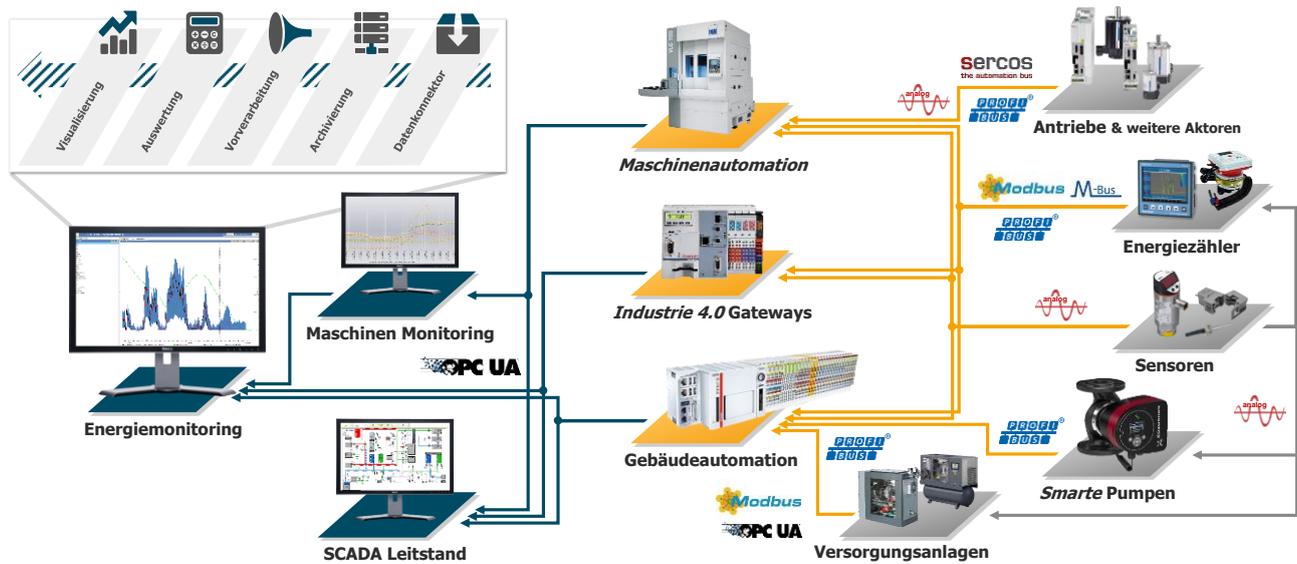


Abbildung 3-4: Beispielhafter Aufbau der Datenerfassung in der ETA-Fabrik (Weigold 2020)

Falls die genutzte Sensorik nicht das notwendige Kommunikationsprotokoll unterstützt, kann es notwendig sein, Gateways einzusetzen, welche das vorliegende Signal in das gewünschte Format übersetzen. Jede gewünschte Messgröße muss dann auf Seiten der Energiemanagementsoftware als Datenpunkt angelegt werden. Pro Messpunkt können so mehrere Datenpunkte anfallen. Für einen Wärmemengenzähler sind bspw. folgende Datenpunkte möglich:

- Temperatur im Vorlauf
- Temperatur im Rücklauf
- Volumenstrom
- Berechnete Wärmeleistung
- Berechnete Wärmemenge seit dem Zeitpunkt  $t$ .

Die anfallenden Daten legt die Energiemanagementsoftware in einem Datenbanksystem ab. Um den notwendigen Speicherplatz zu begrenzen, sollte die Ablagerate entsprechend der Anwendung gewählt werden (siehe hierzu auch Kapitel 3.5). In diesem Zusammenhang kann es auch sinnvoll sein, historische Messdaten in der Auflösung automatisiert zu reduzieren und bspw. Daten, welche älter als 12 Monate sind, von Sekundenwerten auf Minutenwerte zu mitteln.

## Auswahl der geeigneten Energiemonitoringsoftware

Die Auswahl einer geeigneten Energiemonitoringsoftware hängt von vielen unternehmensinternen Faktoren ab. Einen guten Anhaltspunkt bietet an dieser Stelle der online Marktspiegel der Energieagentur NRW:

<https://www.energieagentur.nrw/tool/ems-marktspiegel/>

Mittels eines Onlinefragebogens ermöglicht der Marktspiegel einen einfachen Einstieg in das Thema.

Neben der Kommunikation mit der Sensorik und Aktorik kann es bspw. für die Kennzahlenbildung (siehe Kapitel 4.2) notwendig sein mit anderen Softwaresystemen zu kommunizieren (bspw. ERP-Systeme, MES-Systeme, Dokumentenablagensysteme, etc.). Hier sollten die entsprechenden Schnittstellen vorgesehen werden.

### 3.4 AUFBAU UND INBETRIEBNAHME

Nach der Konzeptionierung des Energiemanagementsystems erfolgt der Aufbau sowie die Inbetriebnahme. Je nachdem ob eine komplette Energiemanagementsoftware eingeführt oder nur temporäre Messungen durchgeführt werden sollen, ergeben sich in dieser Spanne unterschiedliche Schritte, die durchzuführen sind.

Zunächst sollte die Softwarebasis in Betrieb genommen und die im Unternehmen vorhandenen Strukturen abgebildet werden. Die Strukturierung kann nach verschiedenen Aspekten, entsprechend den eigenen Anforderungen, erfolgen:

- **Räumlich**  
Bspw. nach Werken, Hallen, Hallenbereiche, Anlagen.
- **Technisch**  
Bspw. angelehnt an die Elektroverteilung Einspeisungen, Hauptverteilungen, Unterverteilungen und Stromabgängen. Andere Energieträger wie bspw. Druckluft und Wärme werden unabhängig entsprechend der eigenen Topologie abgebildet.
- **Organisatorisch**  
Strukturierung bspw. nach Produktionsbereichen.
- **Kaufmännisch**  
Strukturierung entsprechend den vorhandenen Kostenstellenstrukturen.

Je nach eingesetzter Software können ggf. auch verschiedene Strukturierungen und Darstellungen angelegt werden.

Parallel zum Aufbau der Softwareseite kann mit der Installation der notwendigen Sensorik (hardwareseitige Einbau sowie die strom- und datentechnische Verkabelung) begonnen werden. Die Installation kann hierbei nur in Ausnahmefällen bei laufendem Betrieb erfolgen,

da Gefahren (bspw. Stromschlag) oder technische Gegebenheiten (Temperatur- / Druckmessung im Medium) ein Abschalten des betrachteten Systems erfordern.

### **Installation in Nichtproduktionszeiten**

Während der Installation von Sensorik kann es sein, dass das betroffene System/ die Anlage in dieser Zeit nicht genutzt werden kann. So sollte die Installation in Nichtproduktionszeiten gelegt werden.

Nach der Sensorinstallation muss meist eine Parametrierung erfolgen. So sollte bspw. bei Leistungsmessgeräten für elektrischen Strom das Wandlungsverhältnis der Stromwandler eingestellt bzw. das Kommunikationsprotokoll gewählt werden. Handelt es sich um analoge Sensoren, welche über ein Gateway mit der Energiemanagementsoftware kommunizieren, so müssen diese auf dem Gateway angelegt werden. Hierbei ist die richtige Parametrierung wichtig: je nach Ausgangsart des Sensors (Messspannung, Messstrom, Impuls) müssen die richtigen Umrechnungsfaktoren wie Offset und Steigung bzw. Energiemenge pro Impuls hinterlegt werden.

### **Der Abgleich zwischen Anzeigewert des Sensors und Sensorwert in der Energiemanagementsoftware hilft Fehler bei der Parametrierung zu erkennen.**

Ist der Sensor in der Energiemanagementsoftware angelegt, gilt es die richtige Aufzeichnungsfrequenz für den Sensorwert festzulegen. Typische Aufzeichnungsintervalle können 1 s, 1 min, 15 min und 60 min sein. Die richtige Wahl hängt des Aufzeichnungsintervalls hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- **Was soll mit den Daten gemacht werden?**

Sollen die Daten bspw. für Prognosen genutzt werden, so sind eher kleine Aufzeichnungsintervalle sinnvoll. Sind nur die Energiemengen von Interesse, so können die Aufzeichnungsintervalle entsprechend groß sein.

- **Was wird gemessen?**

Thermische Systeme wie bspw. Kühlkreisläufe sind meist auf Grund ihrer thermischen Massen eher trägere Systeme. Hier reichen meist Aufzeichnungsintervalle im Minutenbereich. Elektrische Systeme hingegen können hoch dynamisch sein, weswegen meist kleine Aufzeichnungsintervalle benötigt werden.

## **3.5 BETRIEB DES ENERGIEMONITORINGSYSTEMS**

Der Betrieb eines Monitoringsystems erfordert eine regelmäßige Wartung und Pflege, um die Güte der systematischen Energiedatenerfassung aufrechtzuerhalten und eine korrekte Analyse der Energiedaten und -Kennzahlen zu ermöglichen.

Potenzielle Ursachen für fehlerhafte Energiekennzahlen können bspw. Veränderungen im Maschinenlayout einer Produktionslinie durch Maschinenumzug oder Erweiterung des

Maschinenparks sein. Etwaige Veränderungen müssen somit auch im Datenerfassungsplan und der Energiemonitoringsoftware nachvollziehbar dokumentiert und angepasst werden.

Weitere Fehlerursachen können fehlerhafte Sensorwerte aufgrund von Hardwarefehlern durch bspw. Verschleiß, Veränderung der Parametrierung oder ein Messstellenausfall sein. Durch regelmäßige Validierung der Messwerte kann deren Plausibilität bzw. der Bedarf einer Neukalibrierung festgestellt werden. Einige Energiemonitoringsoftware kann hierbei durch automatisierte Erkennung von Messstellenausfall / fehlerhaften Werten oder automatische Ausreißer-Analyse (zum Erkennen von Anomalien) die Anwender\*innen bei der Wartung und Pflege unterstützen.

---

## **4 Datenauswertung und Ableiten von Effizienzmaßnahmen**

---

Ziel des Energiemonitorings ist, mittels Analyse von Verbrauchswerten und anhand von Energiekennzahlen, potenzielle Energieverschwendungen aufzudecken und Optimierungsmaßnahmen abzuleiten. Nachfolgend werden Beispiele der Datenauswertung aufgezeigt.

### **4.1 DATENAUSWERTUNG MITTELS LASTGANG UND DAUERLINIE**

Die einfachste Möglichkeit der Auswertung von Messdaten ist es den Lastgang der zu betrachtenden Einheit (bspw. Anlage, Unterverteilung oder Netzanschlusspunkt) näher zu analysieren. Dieser gibt bspw. Aufschluss über

- die Maximale und minimale Leistungsaufnahme,
- die Leistungsaufnahme in Produktionszeiten,
- die Leistungsaufnahme in Nichtproduktionszeiten

im betrachteten Zeitraum. Aus dem in Abbildung 4-1 beispielhaft dargestellten Lastgang eines Erdgasbezugs lässt sich somit ablesen, dass im betrachteten Jahr

- maximal ca. 1.080 kW Erdgas bezogen wurde,
- der Erdgasbedarf auch im Sommer nie unter ca. 30 kW sinkt,
- augenscheinlich eine Abhängigkeit zwischen der Jahreszeit (Außentemperatur) und dem Erdgasbezug existiert.

### Lastgang Gas: Gesamtjahr

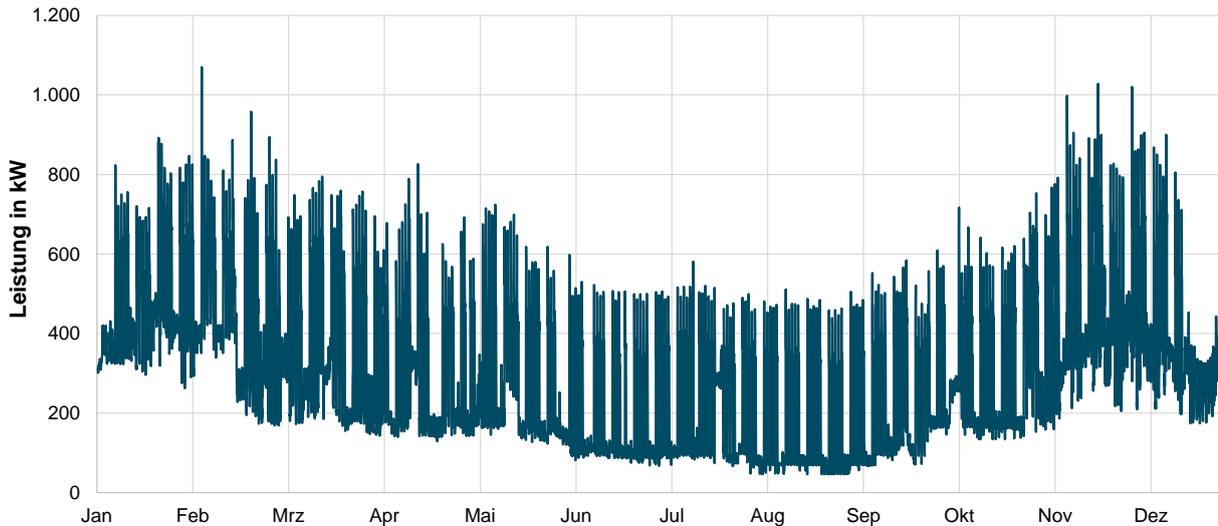


Abbildung 4-1: Beispielhafter Lastgang des Erdgasbedarfs eines Gesamtjahres

Verfeinert man die Betrachtung auf eine Woche (vgl. Abbildung 4-2), so lassen sich noch weitere Details dem Lastgang (Sommerfall) entnehmen:

- Augenscheinlich besteht der wesentliche Erdgasbezug an Werktagen zwischen 01:00 und 13:00 Uhr,
- die ersten drei Stunden die Anlage(n) aufheizt (erhöhter Gasbezug),
- Der Grundlastbezug bei ca. 70 kW liegt (außerhalb der Schichtzeiten und am Wochenende).

### Lastgang Gas: 05.08. bis 12.08.

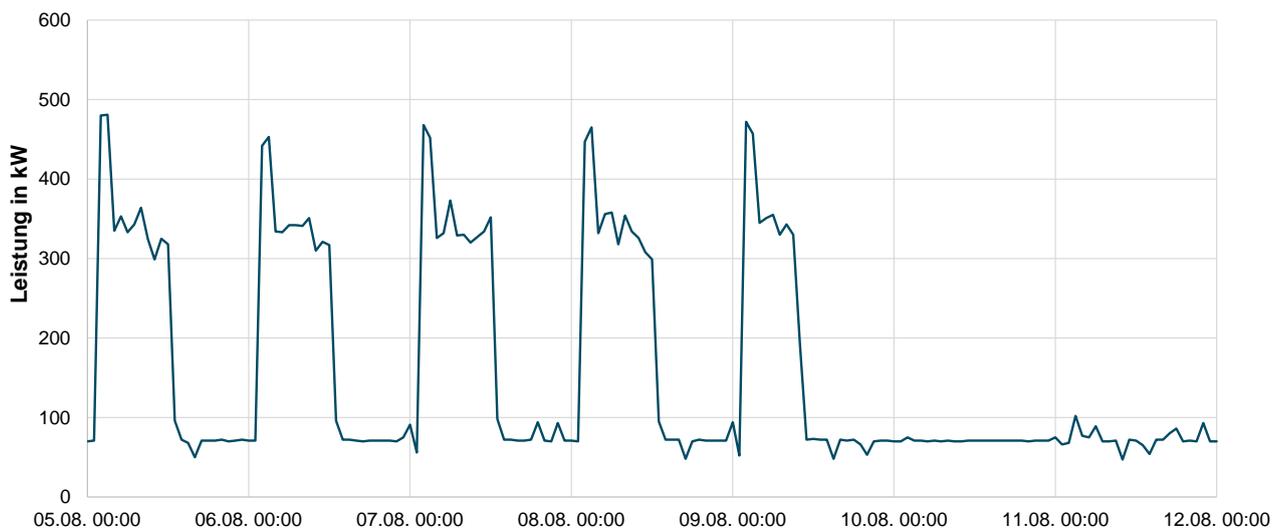
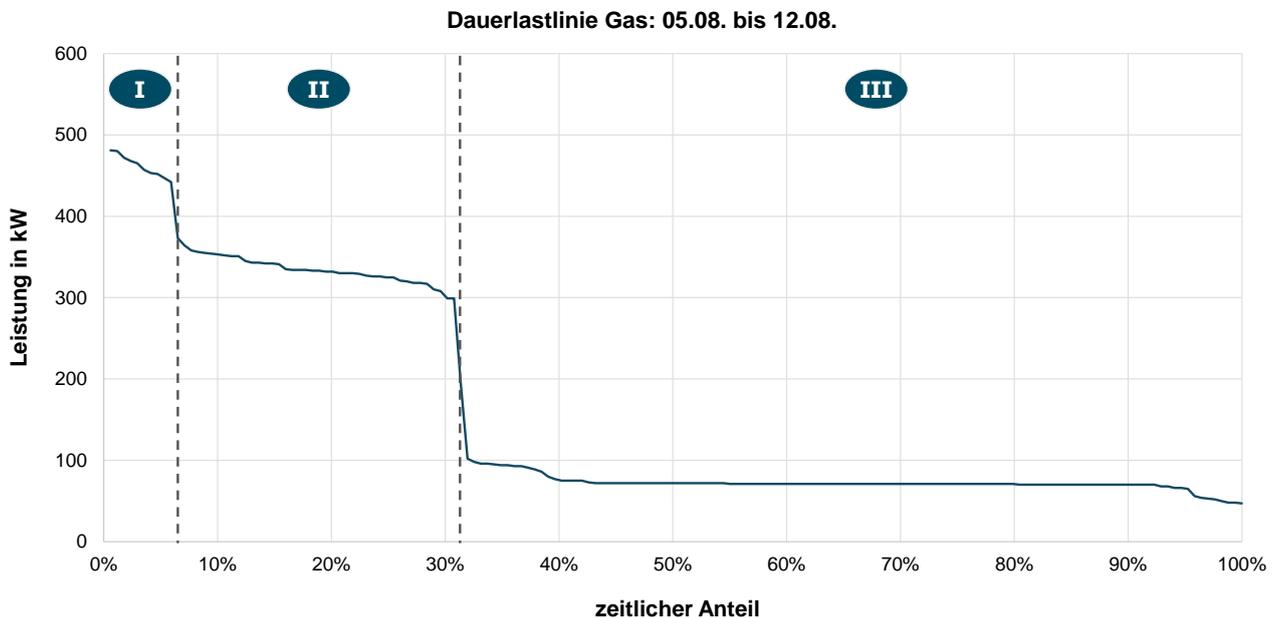


Abbildung 4-2: Beispielhafter Lastgang Erdgasbedarf im Sommer (August)

Werden die einzelnen Messwerte entsprechend ihrer Größe (von groß nach klein) sortiert, so erhält man eine Dauerlastlinie. Die in Abbildung 4-3 dargestellte Dauerlastlinie basiert auf den gleichen Messdaten wie der Lastgang aus Abbildung 4-1.



*Abbildung 4-3: Dauerlastlinie Erdgasbedarf im Sommer (August), Ausgangslastgang siehe Abbildung 4-1*

In dieser Darstellungsform geht der zeitliche Bezug der Messdaten verloren, allerdings lässt sich mit der Dauerlastlinie eine Aussage über die Verteilung des Leistungsbezugs treffen. Aus Abbildung lässt sich demnach ableiten, dass

- ein maximaler Leistungsbezug von knapp über 500 kW vorliegt,
- drei wesentliche Bereiche/Betriebszustände vorliegen (I-III),
- Bereich III die Grundlast in Freischichten bzw. am Wochenende darstellt und
- möglicherweise nochmals in drei Bereiche/Betriebszustände unterteilt werden kann.

Kombiniert man die Betrachtung des Lastgangs und der Dauerlastlinie lassen sich noch weitere Details ableiten:

- ca. 30 % eines Monats die Produktionsanlage(n) mit Gasbezug aktiv laufen,
- ca. 70 % eines Monats die Produktionsanlagen(n) mit Gasbezug betriebsbereit sind, aber keine aktive Fertigung stattfindet.

## Lastgang vs. Dauerlinie

Unter Zuhilfenahme des **Lastgangs** kann eine Aussage darüber getroffen werden, zu welchem Zeitpunkt welche Leistung abgerufen wird. So kann bspw. ein mögliches Abschaltpotenzial in Nichtproduktionszeiten identifiziert werden.

Die **Dauerlinie** kann hingegen helfen unterschiedliche Lastniveaus (Grundlast, Spitzenlast) bzw. Maschinenzustände (Produktion, Warten auf Teile, Standby, etc.) und deren zeitliche Verteilung zu identifizieren.

Insbesondere die **Kombination** beider Darstellungsformen ist hilfreich, um mögliche Einsparpotenziale zu identifizieren und zu quantifizieren.

## 4.2 KENNZAHLENBILDUNG

Neben der Darstellung und Auswertung von Zeitverläufen von Messdaten ist die Kennzahlenbildung ein wesentliches Element der Analyse und Bewertung von Energieverbrauchsdaten. Einfache Kennzahlen sind bspw. der Energiebedarf/ -Kosten je Teil oder Tonne, der Energiebedarf einer Maschine in bestimmten Produktionszuständen oder die CO<sub>2</sub>-Emissionen über den gesamten Fertigungsprozess eines Bauteils.

Um diese Kennzahlen zu bilden, werden weitere produktionsrelevante Daten, wie Anzahl gefertigter Teile, Ausschussquote, Kosten je Energieträger, etc. benötigt. Diese Daten müssen i. d. R. aus anderen Systemen (ERP, MES) an die Energiemonitoringsoftware übertragen werden.

Aufgrund der großen Individualität der Kennzahlenbestimmung wird an dieser Stelle auf die ISO 50006 verwiesen. Mit der ISO 50006 („Energiemanagementsysteme – Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von energetischen Ausgangsbasen (EnB) und Energieleistungskennzahlen (EnPI) – Allgemeine Grundsätze und Leitlinien“) wurde ein Leitfaden zur Bestimmung von Energieleistungskennzahlen erarbeitet. Die Norm schlägt eine Methodik zur Ermittlung von Energiekennzahlen zur ganzheitlichen Überwachung der Energieeffizienz im Unternehmen vor.

## 4.3 EINFLUSSFAKTOREN AM BEISPIEL DER WITTERUNGSBEREINIGUNG VON MESSDATEN

Energieverbräuche können von unterschiedlichsten Faktoren, wie klimatische Schwankungen, beeinflusst werden. Um Energieverbrauchsdaten bspw. von Heizungsanlagen für verschiedene Jahre vergleichen zu können ist aus diesem Grund eine Witterungsbereinigung durchzuführen. Die Witterungs- und Klimaeinflüsse auf den Energieverbrauch werden mit Hilfe eines Klimafaktors erfasst. Diese Klimafaktoren werden

in Deutschland vom Deutschen Wetterdienst<sup>2</sup> für gleitende 12-Monats-Zeiträume berechnet und flächendeckend nach Postleitzahl zur Verfügung gestellt.

#### 4.4 ABLEITEN VON ENERGIEEFFIZIENZMAßNAHMEN

Mit den in Abschnitt 4.1 dargestellten Erkenntnissen aus Lastgang und Dauerlastlinie können bspw. erste Ansatzpunkte für Energieeffizienzmaßnahmen abgeleitet werden:

- Ca. 70 % des Messzeitraums findet augenscheinlich keine aktive Fertigung statt, trotzdem liegt ein Gasbezug von ca. 70 kW vor. Da davon auszugehen ist, dass im **August kein Heizbedarf** vorliegt, kann dieser der Fertigung zuzurechnen ist. Im Vorliegenden Fall ist eine Beschichtungsanlage verantwortlich für den dargestellten Erdgasverbrauch. Hier stellt sich die Frage, warum die Grundlast entsprechend hoch ist und ob eventuell ein **Standby-Betrieb** eingerichtet werden kann.

Die Regelmäßigkeit des Lastgangs lässt darauf schließen, dass die betreffende Anlage über eine Zeitschaltuhr gesteuert wird. So wird augenscheinlich die betreffende Anlage ab 01:00 Uhr nachts vorgeheizt, um dann zu Schichtbeginn auf Betriebstemperatur zu sein. Hier sollte geprüft werden, wie viel Zeit die Anlage tatsächlich benötigt, um auf Betriebstemperatur zu sein. Ähnlich verhält es sich beim Herunterfahren von Maschinen in Freischichten oder am Wochenende. Sofern kein Standby-Management steuerungstechnisch in der Maschine vorgesehen ist, könnte ein **Abschalt-Management** mittels Abschaltplänen durch die Maschinenbediener erfolgen. Zentralanlagen könnten über Schichtmeldungen der einzelnen Fertigungsbereiche bedarfsgerecht betrieben werden.

**Energieflexibilitätspotenziale** lassen sich ebenso durch Lastgang und Dauerlinie ermitteln. Last-Dauerlinien des Strombedarfs geben hierbei Aufschluss über Häufigkeit und max. Höhe von Lastspitzen.

Neben der Ableitung von Energieeffizienzmaßnahmen an den vermessenen Maschinen, können Dauerlinien auch zur bedarfsgerechten Auslegung von Versorgungsanlagen genutzt und somit **Überdimensionierung** vermieden werden.

---

<sup>2</sup> <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html>

---

## 5 Literaturverzeichnis

---

Anton Barckhausen, Juliane Becker, Peter Malodobry (2019, aktualisierte Version vom 2020 (Praxistipps S. 94 und 95)): Energiemanagement-systeme in der Praxis. Vom Energieaudit zum Managementsystem nach ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen. Edited by Umweltbundesamt - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Bundesnetzagentur (2020): Leitfaden zum Messen und Schätzen bei EEG-Umlagepflichten. Edited by Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. Referat erneuerbare Energien (625) Team EEG-/KWKG-Aufsicht. Bonn, checked on 5/28/2021.

Deutsche Akkreditierungsstelle: DAkkS – Anwendungshinweise DIN EN ISO 50001. Erfassung wesentlicher Energieverbräuche und Überwachung. Stand 05/2014.

Hesselbach, Jens (2012): Energie- und klimaeffiziente Produktion. Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele ; mit 34 Tabellen. Wiesbaden: Springer Vieweg (Praxis).

innogy (2021): Datenbasiertes Energiemanagement. Was kann ein produzierendes Unternehmen jetzt tun? Available online at <https://cps-hub-nrw.de/file/2240/download?token=wtbx3VyP>, checked on 10/12/2021.

Weigold, Matthias (2020): Vorlesung: Energieeffizienz und Energieflexibilität in der Produktion. Energiemanagement, 2020.