

Systematische Messdatenerfassung beim Energieaudit mit einer mobilen Messeinheit

Spätestens nach dem Inkrafttreten der Novelle des Gesetzes über Energiedienstleistungen EDL-G am 22.04.2015 müssen sich viele Unternehmen in Deutschland mit der Durchführung von Energieaudits nach DIN EN 16247-1 beschäftigen. Danach müssen für die Audits insgesamt 90 % des gesamten Energieverbrauchs im Unternehmen systematisch erfasst und analysiert werden. Es reicht nicht aus zu wissen, wie hoch der Gesamtenergieverbrauch ist. Vielmehr sind auch die Daten einzelner Verbraucher zu erfassen. Hier gilt es die Frage zu beantworten, wer hat

wann wie viel verbraucht. Hierzu können zeitliche Messprofile erforderlich sein. Dieser Beitrag zeigt, dass es nicht besonders kompliziert ist, diese Profile zu erstellen. Mit dem richtigen Messequipment lassen sich insbesondere die Stromverbräuche schnell und einfach transparent darstellen. Somit können Fragen nach der Höhe des Stromverbrauchs für Licht, IT oder Produktion leicht beantwortet werden.

Autor: Michael Pauli

E-Mail: michael.pauli@managee.de

1 Anforderung der Energieaudits nach EN 16247-1 an Messtechnik

Gemäß EDL-G sind alle Nicht-KMU verpflichtet bis spätestens 05.12.2015 ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchzuführen und dieses alle 4 Jahre zu wiederholen. Bei einem Energieaudit handelt es sich um eine systematische Inspektion und Analyse des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs einer Anlage, eines Gebäudes, eines Systems oder einer Organisation mit dem Ziel, Energieflüsse und das Potenzial für Energieeffizienzverbesserungen zu identifizieren und über diese zu berichten. Ausgenommen von dieser Pflicht sind Unternehmen, die bereits ein Managementsystem nach ISO 50001 oder EMAS nutzen oder dieses bis zum 31.12.2016 einführen werden.

Kontinuierlich oder zeitweise gemessene Betriebsdaten Das Energieaudit muss nach § 8a EDL-G eine eingehende Prüfung des Energieverbrauchsprofils von Gebäuden oder Gebäudegruppen und Betriebsabläufen oder Anlagen in der Industrie einschließlich Transport mit einschließen. Das Energieaudit muss auf aktuellen, kontinuierlich oder zeitweise gemessenen, belegbaren Betriebsdaten zum Energieverbrauch und zu den Lastprofilen basieren. Das Energieaudit muss zudem verhältnismäßig und so repräsentativ sein, dass sich daraus ein zuverlässiges Bild der Gesamtenergieeffizienz ergibt und sich die wichtigsten Verbesserungsmöglichkeiten zuverlässig ermitteln lassen.

Sobald der Gesamtenergieverbrauch ermittelt wurde, sind Bereiche zu identifizieren, die zusammen betrachtet ein zuverlässiges Bild der Gesamtenergieeffizienz ergeben. Davon ist in jedem Fall dann auszugehen, wenn die Bereiche mindestens 90 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen. Dies sind die Bereiche, welche vom Energieaudit erfasst werden müssen. Das Unternehmen kann somit in jedem Fall 10 % des gesamten Energieverbrauchs vom Energieaudit ausnehmen. Die Auswahl, ob Standorte, Anlagen, Prozesse oder Energieträger oder auch eine Kombination davon ausgenommen werden sollen, kann vom Unternehmen getroffen werden.

Schätzungen zulässig Nach der DIN EN 16247-1 sind bei der Erfassung der Energiedaten neben der Anwendung von Messverfahren auch anerkannte Schätzverfahren zulässig. Insbesondere bei nicht kontinuierlich gemessenen Verbrauchern, für die eine Ermittlung des Energieverbrauchs mittels Messung nicht oder nur mit einem erheblichen Aufwand möglich ist, kann der Energieverbrauch auch durch nachvollziehbare Hochrechnungen von bestehenden Betriebs- und Lastkennwerten, ggf. unter Einbeziehung zeitweise installierter Messeinrichtungen (zum Beispiel Stromzange, Wärmehöher), ermittelt werden. Für Geräte zur Beleuchtung und für Bürogeräte kann eine

Schätzung des Energieverbrauchs mittels anderer nachvollziehbarer Methoden vorgenommen werden.

Energiedatenmanagement

Was die Datenerfassung betrifft, muss der Energieauditor (siehe DN EN 16247-1 Nr. 5.5d)

- die Zuverlässigkeit von gelieferten Daten evaluieren und Fehler oder Abweichungen aufzeichnen,
- transparente und technisch angemessene Berechnungsverfahren verwenden,
- die angewendeten Methoden und alle getroffenen Annahmen dokumentieren und
- die Ergebnisse der Analyse geeigneten Qualitäts- und Validitätskontrollen unterziehen.

Das hier beschriebene Energiedatenmanagement (EDM) lässt sich mit nachfolgendem Bild vereinfacht darstellen.

Was ist ein Profil?

Abschließend sei noch kurz auf den im EDL-G eingeführten Begriff des Verbrauchsprofils eingegangen. Dieser Begriff ist weder im Gesetz selbst noch in der Norm näher spezifiziert. Er taucht jedoch auch in der zu Grunde liegenden Energieeffizienzrichtlinie auf. In Deutschland wird darunter zumeist die Darstellung der Energieverbräuche im Zeitverlauf verstanden. Dies ist jedoch zu eng gefasst. Profile können auch statisch sein. So stellt eine Analyse der verschiedenen Nutzungen auf Jahresbasis auch ein Profil im Sinne des EDL-G dar (profile = Querschnitt).

Um elektrische Verbräuche zu erfassen bzw. zeitliche Profile von Verbräuchen zu erstellen, gibt es verschiedene Methoden:

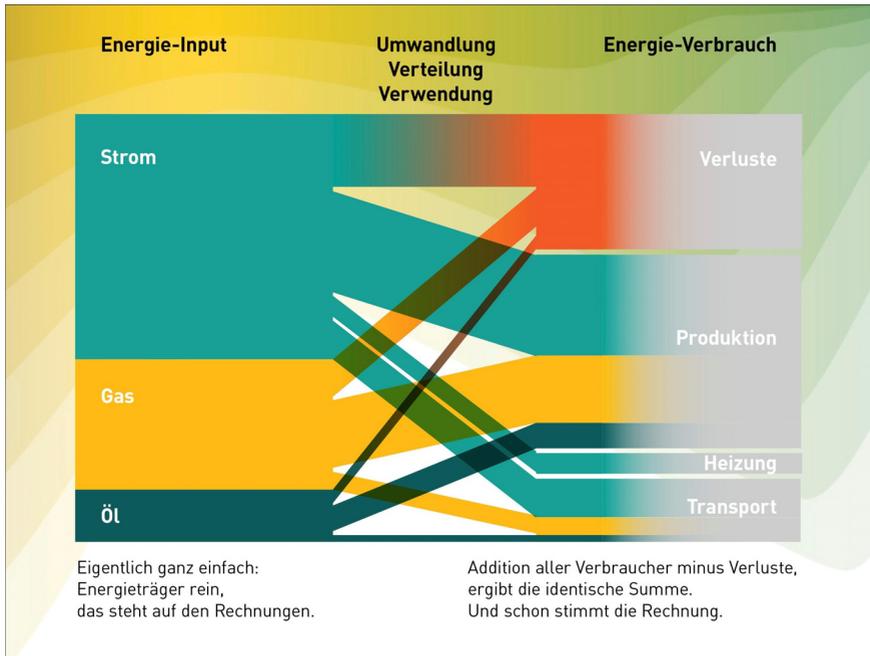


Abb. 1: Grundprinzip Energiedatenmanagement (EDM)

Methoden zur Verbrauchserfassung

- Man nimmt die Leistungsdaten der Geräte vom Typenschild (Nennleistungen) und bestimmt die Laufzeit (Annahme: Verbraucher laufen unter Volllast);
- man führt repräsentative Messreihen (Spotmessungen) mit z. B. Zangenamperemetern durch (Annahme: annähernd konstante Last);
- man führt repräsentative Messreihen mit fest installierten Messgeräten durch;
- man führt repräsentative Messreihen mit „mobilen“ Messgeräten durch.

Den ersten beiden Verfahren ist gemein, dass neben den schon erwähnten Annahmen auch die Zeit geschätzt werden muss. Bei Maschinen ist dies über die Fertigungsstunden oft noch relativ genau möglich, bei Beleuchtung oder IT Arbeitsplätzen dürfte dies schon schwieriger werden.

Mit kontinuierlichen Messverfahren hat man die Chance, ein genaues Verbrauchsprofil ermitteln zu können. Damit die zeitlichen Aufwände für die Profilermittlungen im Rahmen bleiben, sollten die Messgeräte allerdings vernetzt sein und die Daten automatisch in ein übergeordnetes Energiedatenmanagementsystem gesendet werden, um die Messdaten dort zu speichern und auswerten zu können. Diese Systeme sind in vielen Fällen sehr teuer und deshalb in vielen Unternehmen nicht vorhanden.

Profile mit mobilen Messsystemen

Eine günstige Alternative um Stromverbrauchsprofile zu ermitteln sind temporäre Messsysteme, die meistens in tragbaren Messköffern verbaut sind und damit ein mobiles Messsystem darstellen. Mit diesem ist man in der Lage, sukzessive die Stromverbräuche und Profile im Unternehmen zu ermitteln.

In diesen mobilen Messsystemen sollten neben der Messtechnik auch ein Datenlogger und eine Möglichkeit der Auswertung der Messdaten vorhanden sein. Ebenso sollten diese Systeme die Möglichkeit bieten, die Daten zu exportieren, um diese in übergeordneten Systemen weiter verarbeiten zu können. Damit ist eine Notwendigkeit der Norm EN 16247-1 nach Rückverfolgbarkeit der Daten erfüllt. Ein übergeordnetes System kann im einfachsten Fall ein MS Excel oder OpenOffice Calc sein, welche die Daten des Messgerätes im csv(comma separated value)-Format weiterverarbeitet.



Abb. 2: Mobile Messeinheit mE180 2GO manageE GmbH&Co KG

2 Grundprinzipien einfacher Stromdatenerfassung

Die erforderlichen „Stromdaten“ für ein Energieaudit nach EN 16247-1 bestehen in erster Linie aus der elektrischen Arbeit (W) gemessen in Wh. Sie lässt sich aus der elektrischen Leistung (P) in Watt und der Zeit (t) in Stunden oder der Spannung (U) in Volt, der Stromstärke (I) in Ampere und der Zeit (t) in Stunden ermitteln.

$$W = P \times t = U \times I \times t$$

„Stromzähler“ bzw. Energiezähler zeigen die sogenannte Wirkarbeit an.

In einem Drei-Phasen-Drehstromnetz setzt sich die gesamte Wirkleistung P eines Verbrauchers aus der Summe der einzelnen Wirkleistungen aus den jeweiligen Phasen zusammen.

$$P_{ges} = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}$$

Zugehörigkeit von Spannung und Strom

Die zu den einzelnen Leistungen in den jeweiligen Phasen gehörigen Spannungen und Ströme sind in diesem Beispiel die Strangspannung U_{str} (also die Spannung zwischen der Phase und dem Neutralleiter) und der Leiterstrom I_L (also dem Strom durch den elektrischen Leiter).

Bei induktiven Verbrauchern kann es zu mehr oder weniger starken Verschiebungen von Strom- und Spannungsverläufen kommen („bei Induktivitäten die Ströme sich verspäten“). Daher muss neben der Wirkleistung noch die sogenannte Blindleistung erbracht werden. Ein Maß für den zeitlichen Verzug zwischen dem Strom- und dem Spannungssignal bei Wechselströmen ist der Phasenverschiebungswinkel φ . Der sich daraus ergebende Leistungsfaktor $\cos \varphi$ gibt an, welcher Teil der Gesamtleistung (sog. Scheinleistung) in die gewünschte Wirkleistung umgesetzt wird.

Die Wirkleistung berechnet sich wie folgt:

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

Phasenzugehörigkeiten nicht vertauschen!

Wie man erkennen kann, ist der Zusammenhang zwischen dem Strom- und dem Spannungssignal für eine Leistungsmessung wichtig. Werden die Phasenzugehörigkeiten von Strom und Spannung beim Messen vertauscht, erhält man

keinen korrekten Wert für die Leistung und somit keine korrekte Information über die elektrische Arbeit.

Wenn die elektrische Arbeit ($W = P \cdot t$) mit hoher Genauigkeit erfasst werden soll, müssen also der Strom und die zugehörige (richtige) Spannung gleichzeitig gemessen werden. Ebenso muss der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ ermittelt werden, um damit die elektrische Wirkarbeit (W) zu bestimmen. Die Ermittlung der Wirkleistung über die mit einer Stromzange punktuell gemessenen Ströme und der Netzspannung kann daher nur eine im Vergleich grobe Näherung darstellen.

Wahl der Messtechnik ist wichtig

Das hört sich kompliziert an, ist es aber nicht. Man muss bei der Wahl der Messtechnik lediglich darauf achten, dass die Messtechnik die elektrischen Zusammenhänge bereits berücksichtigt bzw. die Messtechnik die Messwerte für Spannung, Strom, $\cos \varphi$, Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung sowie der elektrischen Arbeit W liefert.

Zusätzliche Informationen wie Angaben zur Netzfrequenz (f) können hilfreich sein, um über die Netzqualität Aussagen zu treffen.

Eine Strommessung kann mit verschiedenen Sensoren durchgeführt werden. Für eine mobile Stromerfassung bieten sich Klappstromwandler an (s. Abb. 4). Diese können im laufenden Betrieb um die isolierten Leitungen der stromführenden Phasen gelegt werden und Ströme bis 1000 A und mehr erfassen.

Stromwandler Plug&Play anschliessen

Die Stromwandler liefern ein analoges, dem Stromfluss der gemessenen Phase proportionales Signal. Dieses analoge, meist 0-1 A oder 0-5 A, Signal muss dann von einem Messgerät aufgenommen werden können. Um eine Strominformation über einen Zeitraum zu „loggen“, können die Strom-

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Spannung:	225,93 V	226,59 V	225,83 V
Frequenz:	50,00 Hz	50,00 Hz	50,00 Hz
	Kanal 1	Kanal 7	Kanal 13
	Einspeisung L1-St1A1u2	Einspeisung L2-St3A7u8	Einspeisung L3-St5A13u14
Strom:	0,209 A	0,559 A	0,046 A
Cosinus Phi:	0,8794	0,9113	0,4973
Wirkleistung:	41,52 W	115,35 W	5,13 W
Blindleistung:	22,48 var	52,15 var	9,04 var
Scheinleistung:	47,21 VA	126,58 VA	10,39 VA
Energie:	624,89 kWh	328,10 kWh	140,47 kWh

Abb. 3: Anzeige mobile Messeinheit mE180 TO GO (Energiewerte entsprechen dem Integral der Wirkleistung über die Zeit)

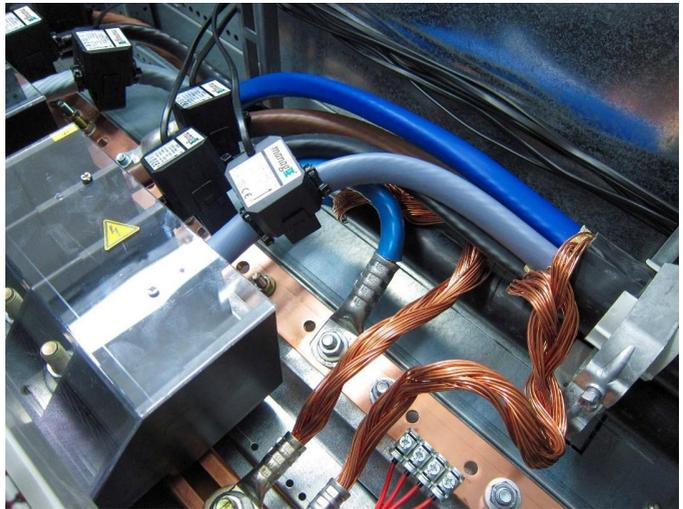


Abb. 4: Klappstromwandler

wandlersignale einer Steuerung mit entsprechendem Speicher zugeführt werden. Hierzu ist oft eine Normierung des Signals (z. B. 4-20mA) notwendig, bevor es digitalisiert werden kann, um den Messwert lesbar zu erhalten. Aus der Steuerung heraus müssen die Messdaten dann einer Visualisierung zugeführt werden, damit die Daten für jeden lesbar werden. Diese Visualisierung sollte webfähig sein, damit ein Ansehen der Daten mit jedem herkömmlichen Browser erfolgen kann. Diese Vorgänge können bei mehreren Messungen sehr komplex werden, sind aber mit entsprechender Hardware (Controller) in eine plug&play-Lösung überführbar.

Bei dieser einfachen Lösung kann der Stromsensor (Stromwandler) sofort angeschlossen werden und liefert so die benötigten Informationen unmittelbar via Browser und speichert die Daten, damit eine historische Analyse leicht stattfinden kann. Ebenso einfach können die Daten dann in ein übergeordnetes System (z. B. Datenbank) übermittelt werden. Lediglich der Parameter zur Einstellung des Wandlerverhältnisses ist anfangs erforderlich.

3 Messtechnik als Kostenfaktor

Energieverbrauch als Kostenfaktor ist überall in den Mittelpunkt gerückt. Die Potenziale zur Energieeffizienz lassen sich nur über dedizierte Analysen ermitteln und herausstellen. Das Wissen über die eigenen Energieeffizienzkennzahlen beeinflusst zukünftige Entscheidungen.

Energiesparen ohne messen funktioniert nicht!

Messen um zu sparen Je mehr gemessen wird, desto besser sind die Möglichkeiten, Energie zu steuern. Ein hoher Aufwand an Messtechnik sollte jedoch bezahlbar sein, damit eine Amortisation stattfinden

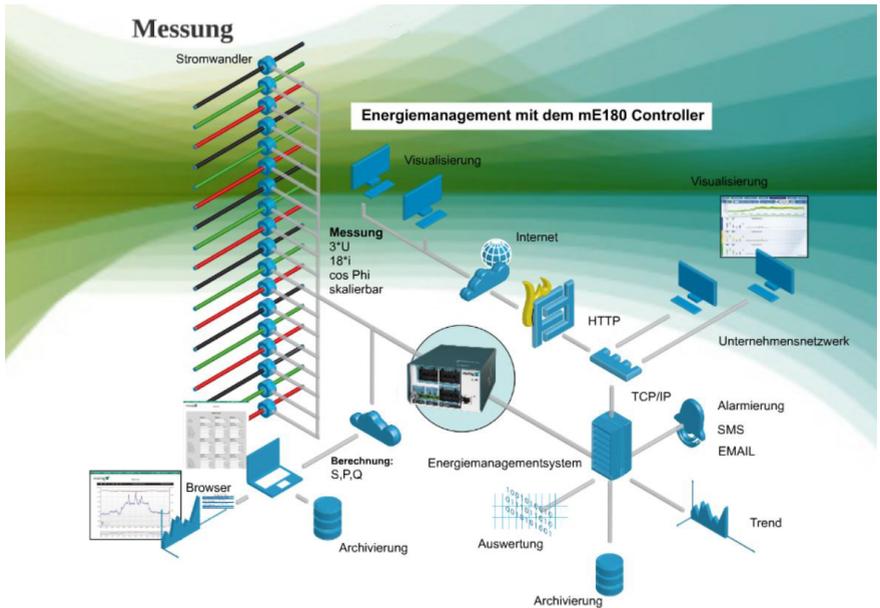


Abb. 5: Plug &Play mehrkanalige Strommessung über manageE mE180 Controller

kann. Allerdings gilt auch, dass Energie sparen ohne Messtechnik wie ein Flug ohne Navigation ist. Man weiß nicht, ob das gewünschte Ziel erreicht wird.

Die Kosten für Messtechnik setzen sich zusammen aus:

- Installationsaufwand,
- Dienstleistungsaufwand für die Vernetzung der Messgeräte,
- Kosten der Sensorik (z. B. Stromwandler),
- Messgerätekosten,

- Dienstleistungsaufwand für die Auswertung der Messdaten,
- Wartungskosten/Überprüfungskosten.

Amortisation in zwei Jahren

Für ein mittelständisches Unternehmen mit Stromkosten von z. B. 120.000 EUR/Jahr (10.000 EUR/Monat) ist es interessant, eine Investition in Messtechnik vorzunehmen, wenn diese sich innerhalb von zwei Jahren amortisiert. Dafür dürfen die Gesamtkosten für Messtechnik aber nur ca. 20 % der jährlichen Stromkosten ausmachen. Wenn durch transparente Verbräuche bzw. eingesetzter Messtechnik im Unternehmen 10 % Energie eingespart werden kann, ist die Amortisation in zwei Jahren gegeben.

Eine relativ günstige Investition in mobile Messtechnik, mit der man sozusagen im Multiplexverfahren die Hauptverbräuche systematisch, diskontinuierlich aber periodisch ermittelt, um sie dann in einem überlagerten System (z. B. Excel) auszuwerten, kann sich über die damit geschaffene Verbrauchstransparenz sehr schnell amortisieren.

Zeitlicher Aufwand muss überschaubar bleiben

Die Voraussetzung an dieser Stelle ist, dass der zeitliche Aufwand für die Installation einer Messung und der zeitliche Aufwand für die Auswertung der Daten in einem vertretbaren Rahmen bleiben. Deshalb ist bei mobilen Messsystemen auf die Funktion „plug&play“ zu achten. Das gilt sowohl für den Messvorgang als auch für den Vorgang der Datenübertragung bzw. -auswertung. Ein aufwendiges (Um)Programmieren, (Um)Parametrieren oder (Um)Installieren kann eine mobile Messung sehr teuer werden lassen.

Überprüfen der Messsysteme

Die Norm ISO 50001 fordert Messsysteme, die genaue und reproduzierbare Daten liefern. Diese Kalibrierungsforderung bezieht sich auf die Funktionsfähigkeit des gesamten Systems. Bei mobilen Messgeräten ist der Vorgang einfach. Man

braucht nur eine temporäre Referenzmessung mit einem zweiten Messgerät (z. B. Zangenampermeter), welches mindestens die gleiche Messgenauigkeit hat, durchzuführen. Der hier anzusetzende Kostenfaktor ist daher gering.

4 Systematische Erfassung von Stromverbräuchen im Unternehmen

Um dem Anspruch an das Energieaudit gerecht zu werden, mindestens 90 % des Energieverbrauchs zu ermitteln und zu analysieren, muss eine systematische Erfassung stattfinden. Hierzu geht man einfach dem Energiefluss im Unternehmen nach. Dieser entspricht einer Baumstruktur, welche man auch in einem sogenannten Sankey-Diagramm darstellen kann.

Stromfluss als Baumdiagramm

Beim Energieträger Strom fängt man am Trafoausgang (Hauptanschluss) an und misst alle relevanten Abgänge. Wenn die Gesamtmenge vom Trafo bekannt ist, führt man die Auflösung der Baumstruktur (die Messung der Endverbraucher) so lange fort, bis Verbräuche für Anlagen und Nutzungen ermittelt werden können (z. B. Klimaanlage, Druckluftkompressoren etc.). Ein „Herunterbrechen“ auf Einzelaggregate ist in der Regel nicht erforderlich. Am einfachsten misst man in den entsprechenden Unterverteilungen an den Sicherungsabgängen der Verbraucher. Das hat den Vorteil, dass mehrere Verbraucher gleichzeitig in einem Messaufbau erfasst werden, da keine örtliche Distanz für die Sensorik (Stromwandler) überwunden werden muss.

Stromverbrauch und Laufzeit

Man sollte sich hier auch nicht unbedingt mit 90 % des Stromverbrauchs begnügen, da die 10 % der Gesamtenergie unter Umständen schon an anderer Stelle bei Standorten, Lagerhallen oder anderen Energieträgern ausgeklammert wurden. Ferner ist zu beachten, dass der leistungsmäßig

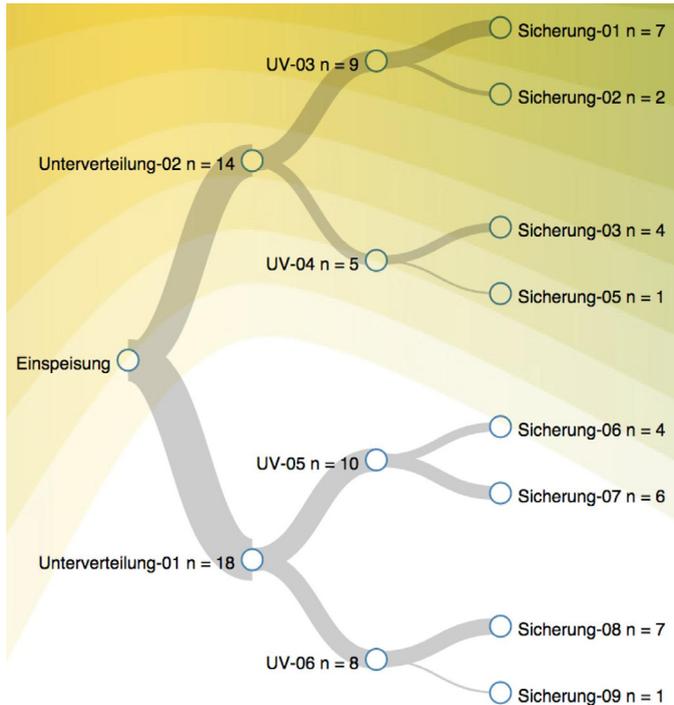


Abb. 6: Baumstruktur Stromfluss im Unternehmen (Sankey-Diagramm)

höchste Verbraucher im Unternehmen nicht automatisch auch der größte Stromverbraucher ist. Eine entscheidende Größe ist die Laufzeit.

Die Messungen am Verbraucher müssen daher über einen gewissen Zeitraum erfolgen, damit Profile (Lastgänge) gebildet werden können. Je länger der Zeitraum einer Messung, desto genauer sind die Informationen, die aus den Profilen

gezogen werden können, um Energieeinsparungen zu realisieren.

Gleichzeitige Messungen sind gefragt

Daher sollten möglichst viele Messungen an Verbrauchern gleichzeitig gemacht werden. Hier bieten die mobilen Messkoffer die Möglichkeit, direkt mehrere Verbraucher parallel zu scannen. Den schnellsten Überblick über alle Verbräuche und die Optimierungsmöglichkeiten erhält man, indem tatsächlich alle relevanten Abgänge bzw. Verbraucher parallel erfasst werden. Je nach Betriebsgröße sind es dann schnell sehr viele Messungen, die im gleichen Zeitraum parallel erfolgen müssen. Das notwendige Messequipment hierzu ist entsprechend aufwendig.

Wenn Profile von Verbrauchern überwiegend bzw. ausschließlich mit mobilen Messeinheiten sukzessive erfasst werden sollen, sollte immer auch das Gesamtverbrauchsprofil (Trafomessung) zum Zeitpunkt der Messung am Endverbraucher vorliegen. Nur auf diese Weise kann bestimmt werden, wie hoch der Anteil des gemessenen Verbrauchers am Gesamtverbrauch zum jeweiligen Zeitpunkt ist.

Das System mE180 2Go z. B. erfasst sechs dreiphasige Verbraucher gleichzeitig und liefert autark sekundengenaue Profile über einen Monat. Um die notwendigen Informationen für ein Audit in einem überschaubaren Zeitraum (z. B. 1 Monat) zu erhalten, können mehrere Einheiten parallel betrieben werden.

5 Installation mobiler Messtechnik

Elektrofachkräfte erforderlich!

Mobile Messtechnik suggeriert, dass die Messtechnik auch von nicht Elektrofachkräften angewendet werden kann. Dies ist definitiv nicht der Fall. Ohne eine elektrotechnisch aus-



Abb. 7: Niederspannungshauptverteilung und Messung

gebildete Fachkraft kommt man nicht aus, um die Messtechnik in laufenden Systemen zu installieren. Auch wenn das Messsystem ausschließlich auf einem mit Steckern ausgestatteten System basiert, müssen Stromwandler oder andere Systeme wie Rogowskispulen um stromführende Leiter (Phasen) gesetzt werden. Den Zugang dazu haben nur Elektrofachkräfte.

Beim Setzen der Stromwandler ist bei einigen Systemen auf die Richtung des Stromflusses zu achten. Wegen der „Korrenzieherregel“ ist das Sekundärsignal der Spule mit einem Vorzeichen behaftet. Ein falsches Setzen der Wandler erzeugt dann ein falsches Vorzeichen des Stroms und damit eine falsche Leitungsangabe bzw. Zählerangabe (Arbeit W).

Die Richtung der gesetzten Stromwandler bei dem vorgestellten System mE180 TO GO wird automatisch erkannt.

Stromwandler – magnetische Wirkung be- achten

Das Setzen der Stromwandler ist generell nicht ungefährlich, da magnetische Kräfte wirken, wenn die Wandler zugeklappt werden. Wenn Wandler bei hohen Strömen im laufenden Be-

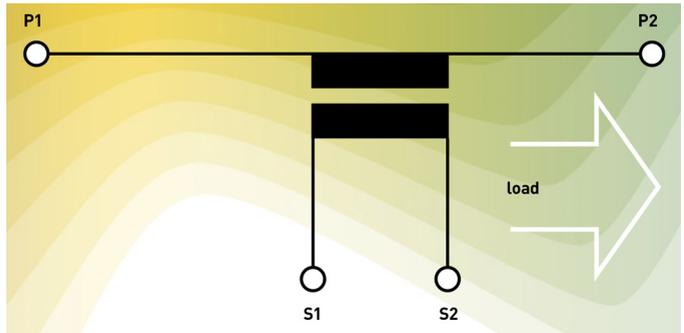


Abb. 8: Beispiel Wandler-Connection

trieb gesetzt werden müssen, ist aufgrund der hohen magnetischen Kräfte besondere Vorsicht geboten.

Stromwandler sollten generell sekundärseitig kurzgeschlossen sein, wenn diese nicht an Messtechnik angeschlossen sind. Da die Wandler wie Transformatoren funktionieren, würde sonst im Leerlauf sekundärseitig eine gefährlich hohe Spannung entstehen. Je nach Energiemenge kann diese auch lebensgefährlich sein.

Auf Reihenfolge achten!

Bei mobiler Messtechnik sollte generell auf die Reihenfolge beim Anschließen der Stromwandler geachtet werden.

1. Erst die Sekundärseite ins Messgerät stecken.
2. Dann den Wandler setzen.

Im umgekehrten Fall wird der Wandler, bis er angeschlossen ist, laut brummen und warm werden. Im Extremfall kann der Wandler überhitzen.

Jede Messtechnik ist mit einem Messfehler behaftet. Die Messfehler sind in Klassen aufgeteilt.

Einteilung in Messklassen			
Messklasse	Klasse 0,5	Klasse 1	Klasse 2
Bezeichnung	Referenzklasse	Abrechnungsausführung	Industrierausführung
Messfehler	2%	5%	+/- 10%
Anwendung	Kalibrierungsprüfstände	Kontrollmessung	industrielle Messung
Prüfstand	DKD-Prüfstand	nach ISO 6358	kein Prüfstand
gemäß VDI-Bericht 1681, 2002			

Abb. 9: Tabelle Messklassen

Messfehler berücksichtigen Für ein Energieaudit sind die Messfehler zu definieren. Bei mobiler Strommessung addiert sich der Fehler aus der Fehlerklasse des Messgeräts und dem Fehler des Sensors bzw. Stromwandlers. Die Wandler sollten eine Klasse 1 haben (Abrechnungsausführung). Dieser Messfehler steht am Ende der 3 bis 5 m Anschlussleitung an. Wird die Leitung über die Originallänge verlängert, wird der Messfehler größer bzw. undefiniert.

Die Zuführung der Spannungssignale muss definiert sein. Um die richtige Phasenzugehörigkeit von Strom und Spannung zu gewährleisten, sollte die Spannung über einen CEE-Stecker zugeführt werden. Hier ist die Phasenlage genormt.

Phasenlage beachten Für den Fall, dass man nicht sicher ist, ob Strom- und Spannungssignal auf der gleichen Phase angeschlossen sind, muss gemessen werden. Die Leitung, in der das Spannungssignal abgegriffen wird, und die Leitung, in der das Stromsignal gemessen wird, dürfen keinen Potenzialunterschied aufweisen, um Phasengleichheit zu gewährleisten.

Beim Aufbau von temporärer Stromerfassung ist auf elektrische Sicherheit zu achten. Da die Messtechnik über einen längeren Zeitraum aufgebaut stehen bleibt, darf keine „fliegende Verdrahtung“ entstehen. Der fachgerechte Aufbau ist nur von ausgebildetem Fachpersonal zu gewährleisten.

Netzwerkfähigkeit gefordert

Die gleichzeitige Messung von mehreren dreiphasigen Verbrauchern ist wie im Abschnitt „Systematische Erfassung von Stromverbräuchen im Unternehmen“ für Energieaudits notwendig. Die mobilen Messeinheiten bieten diese Möglichkeit. Ebenso bieten mobile Messeinheiten die Möglichkeiten des Loggens von Daten. Das ist notwendig, damit die Messgeräte autark (ohne Netzwerk) über einen längeren Zeitraum betrieben werden können. Natürlich sollte eine Möglichkeit der Netzwerkanbindung bestehen, damit im Zweifel aus der Ferne auf die Messung geschaut werden kann. Eine permanente Netzanbindung bedeutet aber zusätzlichen Aufwand bei der Installation, der prinzipiell bei mobilen Einsätzen nicht nötig sein sollte.

Durch entsprechendes Brücken der Spannungseingänge der Messeinheiten können mobile Messgeräte prinzipiell auch einphasige Messungen auf allen Kanälen durchführen. Eine solche Verschaltung darf wiederum nur von elektrisch ausgebildeten Fachkräften durchgeführt werden.

6 Erstellung von Lastprofilen mit mobiler Messtechnik

Ein Lastprofil gibt die elektrische Leistung über eine zeitliche Periode an. Um aussagekräftige Informationen über die Verbräuche im Unternehmen zu erhalten (wer verbraucht wann und wie viel Strom?) sollte zuerst ein Messkonzept definiert werden. Dieses Messkonzept legt fest:

- Was wird gemessen?
- Wann wird gemessen?
- Wie lange wird gemessen?

Messkonzept definieren

Das Messkonzept sollte dokumentiert werden, um eine systematische Analyse nachvollziehen zu können und um Einsparpotenziale im Unternehmen zu finden

Im einfachsten Fall sind es Verbraucher, die im eingeschalteten Zustand immer gleiche Verbräuche haben und der Reihe nach gemessen werden können. Es muss lediglich vor der Messung ermittelt werden, wann diese Verbraucher eingeschaltet sind und wie lange sie laufen. Die Höhe des Stromverbrauchs wird durch eine einfache Spotmessung bestimmt. Die Laufzeit wird durch Produktionszyklen oder durch Erfahrungswerte definiert. Der Gesamtverbrauch für diese bestimmten Laufzeiten kann dann einfach rechnerisch ermittelt werden.

Lastprofile bei ständig wechselnden Lasten

Etwas komplizierter ist es, Profile von einzelnen Verbrauchern zu erstellen, wenn ständig wechselnde Lasten anfallen. Das ist oft bei elektrischen Antrieben der Fall. Hier muss längerfristig kontinuierlich Strom erfasst werden, um richtige Aussagen über Energieverbräuche treffen zu können. Die gemessenen Werte sollten natürlich gespeichert (geloggt) werden, um sie zu einem späteren Zeitpunkt auswerten zu können.

Sehr komplex ist es, Profile zu erstellen, wenn mehrere Verbraucher mit ständig wechselnden Lasten gemeinsam erfasst werden müssen, um Aussagen über Energieverbrauch zu einem Bereich treffen zu können. Ein solches Beispiel wäre „Wie viel Energie verbraucht die Produktion im Unternehmen?“

Dokumentation erforderlich Hierzu bedarf es ein Verständnis der betrieblichen Gegebenheiten und Abläufe, um analytisch festzustellen, an welchen Stellen Strom gleichzeitig erfasst werden muss, damit der Energieverbrauch mit einer nachvollziehbaren Genauigkeit bestimmt werden kann.

Um solche Messungen richtig durchzuführen, ist das Vorhandensein der Dokumentation der elektrischen Anlage erforderlich. Wenn diese nicht vorhanden ist, benötigt man Zeit, um durch „probieren“ (messen und schalten) herauszufinden, welche Verbraucher an bestimmten Abgängen (Sicherungen) angeschlossen sind. Das ist während einer laufenden Produktion oftmals nicht einfach möglich.

Wenn bestimmt werden konnte, an welchen Stellen gemessen werden muss, um definierte Informationen über Produktionsprozesse zu erhalten, muss ebenso festgelegt werden, wann gemessen werden soll, um ein repräsentatives Messergebnis zu erhalten. Produktionsauslastung, Jahreszeiten, Tages- oder Nachtzeiten spielen eine wichtige Rolle für die Bestimmung der Höhe des Energieverbrauchs einzelner Verbraucher.

Messzeiträume definieren Um der Maßgabe der Energieaudits gerecht zu werden, Einsparpotenziale im Unternehmen zu finden, sollten Messungen über definierte Zeiträume durchgeführt werden.

Ein Zeitraum von einem Tag, mehreren Tage oder einer Woche kann durchaus repräsentativ sein. Um sicher zu sein, dass diese Periodenprofile tatsächlich repräsentativ sind, sollten mehrere Profile von unterschiedlichen Zeiträumen vorliegen. (Sommer, Winter etc.).Je länger eine Messperiode, desto aussagekräftiger wird das Messprofil.

Lastprofile vergleichen Lastprofile von unterschiedlichen Messperioden müssen verglichen werden. Vergleichen bedeutet, das Zeiträume

übereinanderlegt werden, um Unterschiede herausfiltern zu können.

Um die Unterschiede in den Profilen analysieren zu können, müssen die Messungen der zugehörigen Verbraucher jeweils zum vergleichbaren Zeitpunkt vorliegen (z. B. Montag bis Freitag). Aufgrund der Datenmengen, die bei der Auswertung einer entsprechenden Anzahl von Profilen anfällt, nutzt man am besten Programme, welche Reportwerkzeuge zur Verfügung stellen.

Das Beispiel in Abbildung 10 zeigt eine Lastganganalyse einer Grundschule. Der Gesamtverbrauch wurde aufgelöst nach Verbrauch für Licht, für IT und Verbrauch für an Steckdosen angeschlossene Geräte.

Lastspitzen identifizieren

Häufig werden Lastprofile genutzt, um Lastspitzen kappen zu können. Für viele Unternehmen spielt die Höhe der vom Energieversorgungsunternehmen zur Verfügung gestellten Leistung eine maßgebliche Rolle für den Preis der kWh. Wird die Höhe der eingekauften Höchstleistung vom Unternehmen überschritten, wird der Preis pro kWh überproportional teuer. Mit temporärer Messtechnik hat man eine Chance, diese Lastspitzen zu identifizieren, wenn die Lastspitzen in wiederkehrenden Zeiträumen auftreten. Nur wenn die Lastspitzen identifiziert sind, können sie auch eliminiert werden. Abbildung 11 verdeutlicht dies.

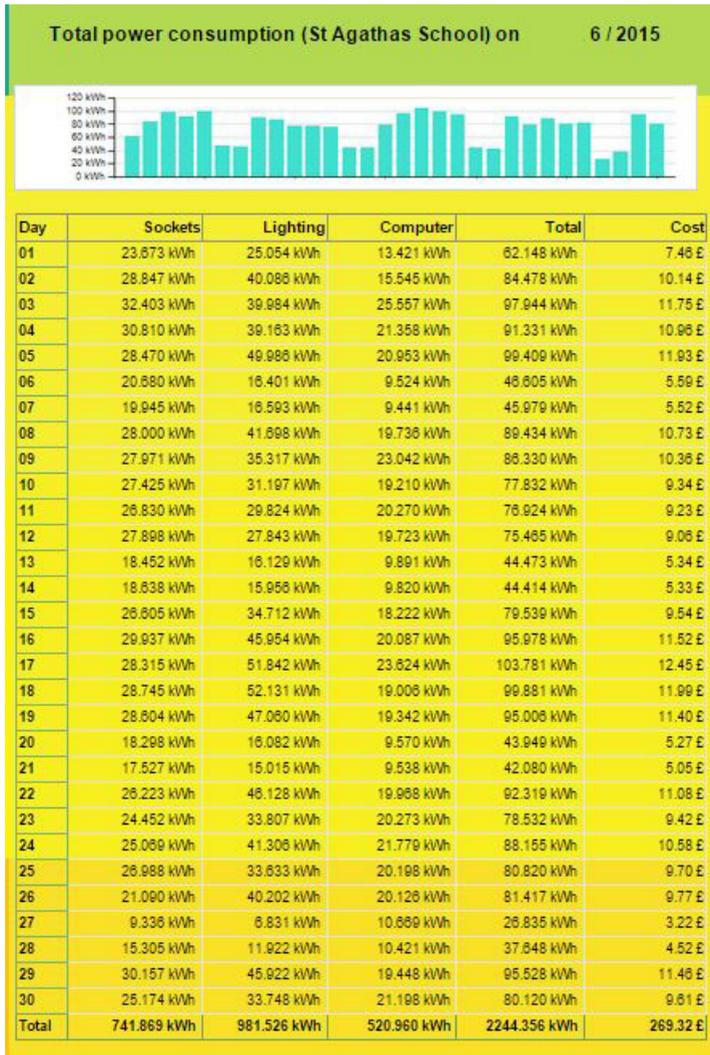


Abb. 10: Lastganganalyse einer Grundschule

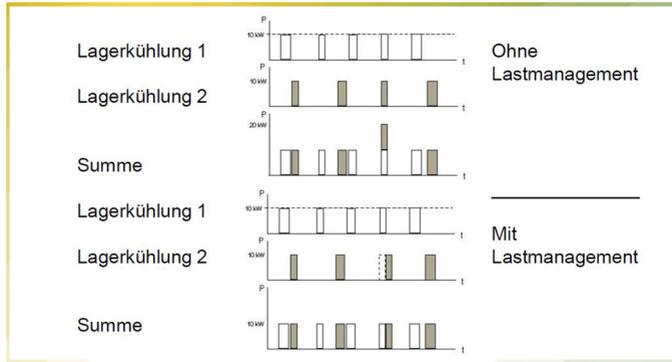


Abb. 11: Lastspitzen eliminieren [1]

7 Energiemonitoring und Kostenrechnung mit temporärer Messtechnik

Temporäre Messtechnik kann auch zum Energiemonitoring (siehe auch ISO 50001 Nr. 4.6.1) und zur Kostenkontrolle eingesetzt werden.

Soll/Ist-Abgleich erforderlich

Um Energie zu überwachen, ist ein Soll/Ist-Abgleich erforderlich. Das Sollprofil bildet den gewünschten Verbrauch unter Normalbedingungen ab. Dieses Sollprofil muss zunächst ermittelt werden, um mit davon abweichenden Ist-Profilen verglichen werden zu können.

Verteilung der Energiekosten auf Kostenstellen

Um Kostenrechnung mit Energiekosten betreiben zu können, müssen die Kosten auf einzelne Kostenstellen verteilt werden. Energiekosten werden so direkte Kosten. Eine Aufschlüsselung von Energiekosten auf Kostenstellen sollte nicht einfach bestimmt, sondern messtechnisch ermittelt werden. Häufig wird eine Kostenschlüsselung von Energieaufwänden in Unternehmen nach Schlüsseln vorgenommen, die fehlerbehaftet

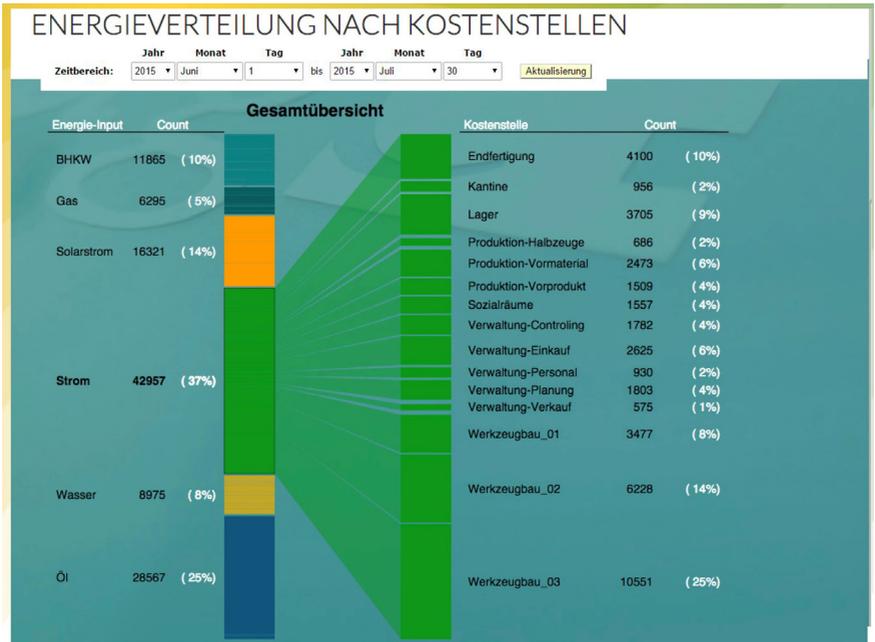


Abb. 12: Kostenstellen als Sankey-Diagramm

sind, da keine genauen Messdaten bzw. Verbrauchsprofile vorliegen. Aufschlüsselungen wie „Quadratmeter in Anspruch genommener Produktionsfläche“ bilden nicht den tatsächlichen Verbrauch ab und liefern im Zweifel ein sehr fehlerhaftes Kostenabbild. Je genauer die Aufschlüsselungen der Energiekosten sind, desto schneller und präziser kann eine unternehmerische Entscheidung bei Veränderungen wie z. B. einer Kostensteigerung erfolgen.

Lastprofile – nicht nur für Audits

Energiekosten managen heißt Energieverbräuche messen. Je besser die Messinformation, desto treffsicherer sind die sich

daraus ergebenden Entscheidungen. Wenn Lastprofile von Energieverbräuchen, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ermittelt worden sind, können diese Profile nicht nur für Audits benutzt werden, sondern auch für die Kostenrechnung im Unternehmen.

Mit den richtig ermittelten Lastprofilen von Verbrauchern lassen sich Deckungsbeiträge von Produkten ermitteln. Insbesondere bei ständig steigenden Stromkosten ist es von elementarer Bedeutung, den Anteil der Energiekosten am Produkt zu kennen, um bei Strompreisveränderungen richtig reagieren zu können.

**Mehrwert:
Prozessinfor-
mationen**

Ein Einsatz von mobiler Messtechnik zur Stromerfassung im Unternehmen bietet daher die Chance, neben den notwendigen Aufwänden für Audits einen nicht zu unterschätzenden Mehrwert zu erlangen, da man Prozessinformation sammelt, welche für produktionstechnische bzw. unternehmerische Entscheidungen ausgewertet werden können.

**Daten sollten
exportierbar
sein**

Eine wichtige Voraussetzung für die Auswertung der Energiedaten ist, dass die Daten aus dem mobilen Messsystem in ein überlagertes System über ein CSV-Datenformat übertragen werden können. Im einfachsten Fall ist das überlagerte System ein OpenOffice Calc.

Beispiele

Ein Beispiel für notwendige Messungen mit mobilen Stromerfassungssystemen wäre die Analyse von Produktionsbedingungen, wenn in vergleichbaren Zeiträumen und bei gleichem Produktionsoutput immer wieder unterschiedliche Gesamtkosten für Energie entstehen. Ein weiteres Beispiel wäre, die Energiekosten für die Zeiten zu ermitteln, in denen die Produktionsanlagen „leer“ laufen.

8 Energiesparen mit transparentem Stromverbrauch

Stromsparen in einem Unternehmen bedeutet immer, dass entweder die Investitionen in sparsamere Verbraucher, wie etwa moderne Umrichter, gesteuerte Antriebe oder moderne Leuchtmittel (LED's) investiert werden muss, oder man erfasst den nicht notwendigen Verbrauch und eliminiert diesen.

Überflüssigem Stromverbrauch auf der Spur

Überflüssigen Verbrauch zu ermitteln bedeutet prinzipiell, dass man ein „Soll-Verbrauchsprofil“ und ein „Ist-Verbrauchsprofil“ benötigt. Beides muss ständig überwacht werden, um bei einer Soll/Ist-Abweichung eine Information bzw. Meldung zu erhalten, auf die manuell oder automatisiert reagiert werden kann.

Das Prinzip funktioniert, ist aber kostenintensiv und nur mit vollautomatisierten Prozessleit- oder Gebäudeleitsystemen umzusetzen.

Um einem potenziell unnötigen Verbrauch auf die Spur zu kommen, welcher eigentlich in jedem Unternehmen vorhanden ist, kann man die einfache Frage stellen:

Wie viel Verbrauch hat das Unternehmen zu „Nicht-Betriebs-“ bzw. „Nicht-Produktionszeiten“?

Bei vielen Unternehmen sind dies die Nachtverbräuche und die Verbräuche am Wochenende.

Die Höhe der gesamten Verbräuche zu den Nicht-Betriebszeiten bekommt man über das vom Versorger gelieferte Verbrauchsprofil. Liegt dies nicht vor, muss man an dem Einspeisepunkt des Unternehmens eine Profilmessung durchführen.

Profilmessungen einzelner Unternehmensbereiche

Die Information „Verbrauch zu Nicht-Betriebszeiten“ kann auf Teile des Unternehmens heruntergebrochen werden. Hierzu stellt man dann die Frage, wie viel Verbrauch zu „Nicht-Betriebszeiten“ die jeweilige Einheit im Unternehmen hat. Einzelne Unternehmensbereiche können das Verwaltungsgebäude, die Produktionshalle, die Technikräume oder das Parkhaus sein. Die Analyse der einzelnen Bereiche kann sukzessive erfolgen.

Die jeweiligen Verbrauchsprofile sind einfach zu ermitteln. Man führt wiederum Profilmessungen an den jeweiligen Einspeisepunkten der Einheiten im Unternehmen über einen entsprechenden Zeitraum durch. Sobald diese Verbrauchsprofile ermittelt sind weiß man, wie viel Energie bzw. Strom potentiell eingespart werden können.

Rückverfolgbare Analyse möglich

Nun muss ermittelt werden, woher diese potenziell überflüssigen Verbräuche kommen. Hierzu geht man wieder der Baumstruktur der elektrischen Anlage nach und misst gleichzeitig an der jeweiligen Wurzel und an den Abgängen, um zu bestimmen, wann welche Leistung wohin fließt. Mit entsprechenden Hilfsmitteln (hier manageE mE2020), kann man wiederum die historisch gemessenen Werte zeitpunktgenau rückwärts analysieren. Man stellt den Mauszeiger im Trend auf den entsprechenden Zeitpunkt und bekommt dann analog der Baumstruktur die entsprechenden Messwerte zum gewählten Zeitpunkt angezeigt. Auf diese Weise kann eine Lastspitze direkt „aufgelöst“ werden (s. Abb. 13).

In vielen Fällen wird man feststellen, dass es der Stromverbrauch für IT oder für Licht ist, welcher zur „Nicht-Betriebszeit“ vorhanden ist.

Überflüssigen Stromverbrauch eliminieren

Nicht gewünschte Kosten für Licht lassen sich sehr leicht eliminieren. Oft reicht eine Anweisung aus. Es gibt aber auch

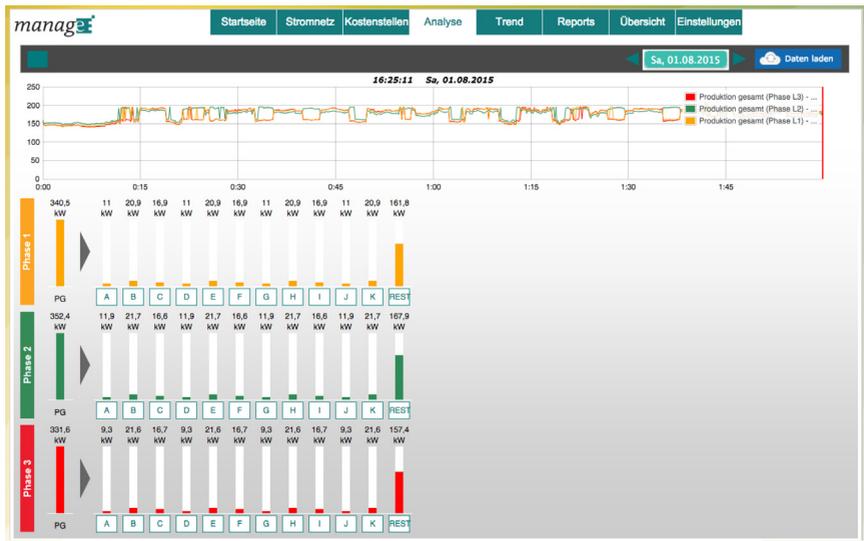


Abb. 13: Historische Analyse des Stromverbrauchs

preiswerte automatisierte Lösungen, wie zeitabhängige Steuerungen oder Bewegungsmelder, um überflüssigen Stromverbrauch für Licht dauerhaft im Griff zu halten.

Während bei Licht überflüssiger Stromverbrauch leicht definierbar ist, ist dies bei Stromverbrauch für IT nicht so einfach. Oftmals sind es Server, die Tag und Nacht laufen müssen und nicht ohne weiteres abgeschaltet werden können.

Virtualisierung der IT

Eine Lösung für die Verringerung dieser Serverstromverbräuche können eine Virtualisierung der Systeme oder Cloud-Lösungen sein. Virtualisierung von IT bedeutet weniger Hardware und somit automatisch weniger Verbrauch. Cloud-basierte Lösung bedeutet, man benötigt keine eigenen Server. Die gesparten Energiekosten decken fast die Betriebskosten

eines Cloud-Systems, zumal eine entsprechende Leistung für die Kühlung (Klimatechnik) entfallen würde und das Unternehmen die kompletten Hardwarekosten spart.

Wenn die Verbräuche für Serverleistung separat ermittelt worden sind, können die übrig bleibenden IT-Kosten (Rest-IT) wiederum ähnlich leicht wie bei Licht durch eine betriebliche Anweisung oder durch automatisierte Lösungen, wie zeitabhängige Steuerungen, minimiert werden.

Weiterführende Informationen:

BAFA-Merkblatt zum EDL-G vom 08.07.2015

IHK Lehrgang „Eurem“, Dokument- 2d-Lastmanagement_2013.pdf

Quellen

[1] IHK Eurem, 2d-Lastmanagement_2013.pdf