

Praxishandbuch

Erste Schritte zur Implementierung eines zielgerichteten
Energiemanagements

Projektpartner


TECHNOLOGIETRANSFER UND
INNOVATIONSPÖRDERUNG
MAGDEBURG GMBH

Fraunhofer
IGCV



Fraunhofer
IIS

Praxispartner


OUR TECHNOLOGY -
YOUR PROGRESS.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Mittelstand-
Digital 

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung

Dieses Praxishandbuch vermittelt den Einstieg in das Thema Energiemanagement als Basis zur Identifikation und Planung von stromseitigen Optimierungsmaßnahmen und richtet sich insbesondere an kleine und mittlere Unternehmen. Das Praxishandbuch beinhaltet die wesentlichen Schritte und unterstützt die Implementierung anhand von Vorlagen und Lösungen aus dem Projekt EILE (Energiewissen und intelligente Anwendung).

Im ersten Schritt werden Stromverbraucher und gegebenenfalls Stromerzeuger in einem [Erfassungsbogen](#) strukturiert erfasst. Im weiteren Verlauf sollen die Stromverbraucher identifiziert werden, die ein [Energieflexibilitätpotenzial](#) aufweisen. Für Stromverbraucher mit einem hohen Anteil am Gesamtstrombedarf, mögliche energieflexible Stromverbraucher sowie Stromerzeuger werden geplante Messpunkte in einer [Datenanforderungsliste](#) spezifiziert und bilden die Grundlage des [Messkonzepts](#).

Im nächsten Schritt kann die Messkampagne mittels Messkoffern oder ggf. Installation von Zählern durchgeführt werden. Die Lastgänge werden in einem [Energiemanagementsystem](#) erfasst und deren Aufbereitung in Form von [Kennzahlen](#) unterstützt eine tiefergehende Analyse.

Im letzten Schritt werden Optimierungsmaßnahmen zur Nutzung vorhandener Potenziale abgeleitet. Beispiele in diesem Praxishandbuch sind [Lastverschiebung](#), Optimierung anhand von [Prognosen](#) und Entwicklung von Zielszenarien auf Basis von [Variantenberechnungen](#).

Die so geschaffene Datenbasis bietet die Grundlage für die spätere Implementierung eines auf die Optimierungsmaßnahmen ausgerichteten Energiemanagements.

Inhaltsverzeichnis

Entwicklung eines Messkonzepts	4
Messung, Energiemanagementsystem, Kennzahlen	10
Ableitung exemplarischer Optimierungsmaßnahmen	15
Ausblick	19
Kontakt.....	19

Entwicklung eines Messkonzepts

Im Rahmen der Bestandsaufnahme sollten neben dem Gesamtstrombedarf auch die einzelnen relevanten Stromverbraucher detailliert aufgenommen werden. Hierfür bietet dieses Praxishandbuch ein strukturiertes Vorgehen zur Entwicklung eines Messkonzepts, das ausgerichtet auf die relevanten Stromverbraucher und potenzielle Stromerzeugungsanlagen, z. B. Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen), die Grundlage zur Durchführung einer temporären Messkampagne und ggf. Zählerinstallation darstellt. Bestandteile des strukturierten Vorgehens sind ein Anlagenerfassungsbogen, die Identifikation möglicher Energieflexibilitätspotenziale und die Sammlung und Erweiterung von Informationen geplanter Messpunkte in einer Datenanforderungsliste, welche im Folgenden dargestellt werden. Ziel ist es, eine fundierte Datenbasis für die Analyse des Strombedarfs zu schaffen und Optimierungspotenziale zu identifizieren und zu bewerten.

Erfassung relevanter Stromverbraucher

Tragen Sie zunächst die einzelnen Anlagen (Stromverbraucher und ggf. Stromerzeuger) in den Anlagenerfassungsbogen (Anlage 1) ein und erfassen Sie diese Informationen:

- Anlagenbezeichnung: Geben Sie den Namen oder die Beschreibung der Anlage an.
- Leistungsaufnahme/-spitze (kW): Notieren Sie die maximale Leistungsaufnahme oder die Spitzenlast der Anlage. Diese können Sie i.d.R. dem Typenschild oder dem technischen Datenblatt entnehmen.
- Typische Laufzeit (h pro Tag): Geben Sie an, wie viele Stunden die Anlage typischerweise pro Tag in Betrieb ist (z. B. 8 h/Tag).
- Elektrischer Anschluss: Beschreiben Sie, wie die Anlage angeschlossen ist (z. B. direkt über das Netz oder eine Unterverteilung, Absicherung und Phasen).
- Betriebsstunden (h pro Jahr): Tragen Sie ein, wie viele Stunden die Anlage durchschnittlich pro Jahr in Betrieb ist.
- Steuerbar: Markieren Sie, ob die Anlage steuerbar ist (z. B. ein- oder ausschaltbar zu unterschiedlichen Tageszeiten).
- Energieflexibel: Kreuzen Sie an, ob die Anlage grundsätzlich energieflexibel eingesetzt werden könnte (z. B. Pausieren der Anlage oder Anpassen der Prozessführung) und dabei über signifikante Potenziale hinsichtlich Energiekosteneinsparungen verfügt.
Auf Energieflexibilitätsmaßnahmen (EFM) wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.
- Messungen vorhanden: Vermerken Sie, ob für diese Anlage Messdaten bereits über einen repräsentativen Zeitraum vorliegen. Ein repräsentativer Zeitraum bildet dabei den typischen Betrieb einer Anlage in allen relevanten Prozessführungen ab. Je nach „Regelmäßigkeit“ der Fertigung kann er daher zwischen mehreren Wochen oder Monaten liegen. Es wird empfohlen einen repräsentativen Zeitraum von mindestens vier Wochen zu wählen.

Beispielanlagen im Anlagenerfassungsbogen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Messkonzept - Anlagenerfassungsbogen								
Nr.	Anlagenbezeichnung	Leistungsaufnahme -spitze (in kW)	typische Laufzeit (in h)	Elektrischer Anschluss	Betriebsstunden (h pro Jahr)	steuerbar	energieflexibel	Messungen vorhanden
1	Lötelle	40	5	32A, 3-phasig, Unterverteilung	820	X	X	
2	Kompressor	7,5	2	16A, 3 phasig, Direktanschluss	320			X

Abbildung 1 Anlagenerfassungsbogen mit Beispielen. Eine Mustervorlage ist in Anlage 1 enthalten.

Für energieflexible Anlagen mit einem hohen Anteil am Gesamtstrombedarf sollten im nächsten Schritt geeignete EFM identifiziert und bewertet werden.

Identifikation und Bewertung von Energieflexibilitätsmaßnahmen

Energieflexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich mit geringem Aufwand an Änderungen des Energieangebots anzupassen. Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die oft keinen direkten Zugang zum Energiemarkt und den damit verbundenen volatilen Energiepreisen haben, können jedoch andere Anreize entscheidend sein. Zu den monetären Vorteilen für KMU zählen insbesondere:

- Erhöhung der Eigenverbrauchsquote: Optimale Nutzung selbst erzeugter Energie (z. B. aus PV-Anlagen).
- Senkung der Jahreshöchstlast: Reduzierung der Spitzenlasten zur Senkung netzbezogener Energiekosten (i. d. R. ab einem Strombedarf über 100 MWh/a).

Abbildung 2 skizziert eine energieflexible Betriebsweise der Produktion zur Optimierung der Eigenverbrauchsquote und Jahreshöchstlast. Die mittlere Darstellung zeigt, wie bspw. der Stromverbrauch einer Produktionsanlage (rote Balken) in Zeiten niedriger Strompreise (schwarze Kurve) mit Hilfe einer Anpassung der Auftragsreihenfolge geschoben wird. Grund für den Höchstpunkt der schwarzen Strompreiskurve kann bspw. eine prognostizierte Jahreshöchstlast sein, die somit durch eine energieorientierte Produktionsplanung umgangen wird.

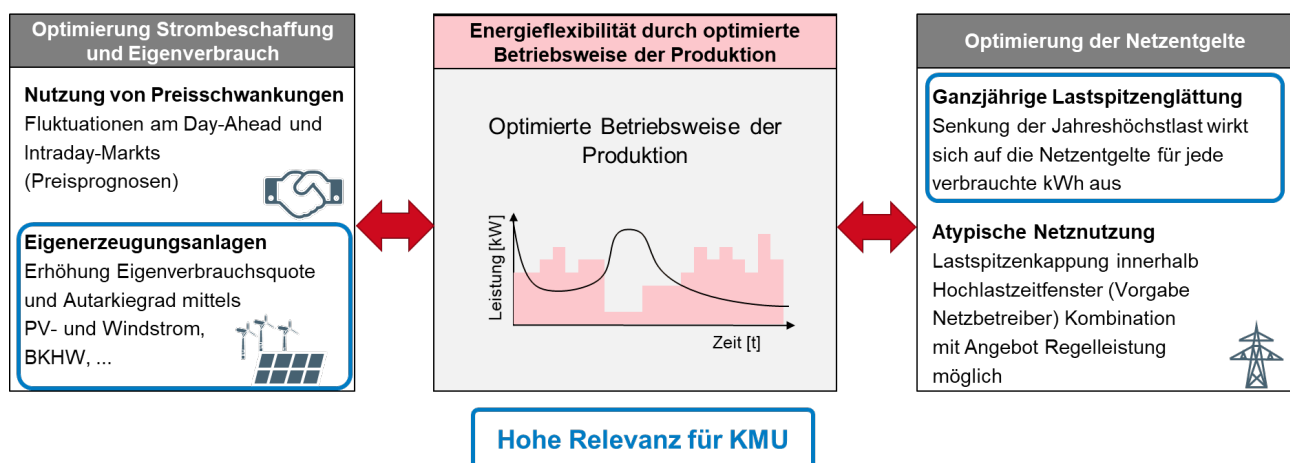


Abbildung 2 Motivation zur Energieflexibilität bei KMU.

Für die im Erfassungsbogen eingetragenen Anlagen sollten folgende Ansätze als Möglichkeiten zur Flexibilisierung analysiert werden:

- Lastverschiebung: Verlagerung energieintensiver Prozesse auf günstigere Zeiträume.
- Lastverzicht: Temporäre Reduktion oder Abschaltung von Anlagen (insbesondere bei Vermeidung von Lastspitzen).
- Lasterhöhung: Gezielte Erhöhung der eingesetzten Ressourcen zur Ausnutzung günstiger Energiepreise.

Gemäß VDI 5207 können EFM auf verschiedenen Ebenen des Unternehmens umgesetzt werden. Eine grafische Darstellung in Form einer Pyramide (vgl. Abb. 3) zeigt beispielhaft Maßnahmen für die:

- Unternehmensleitebene: Strategische Entscheidungen, z. B. langfristige Anpassung der Schichtzeiten an Energiemarktbedingungen.
- Fertigungsleitebene: Taktische Maßnahmen durch Anpassungen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS), z. B. Anpassung der Auftragsreihenfolge.
- Fertigungsebene: Operative Maßnahmen, die direkt an Maschinen und Prozessen umgesetzt werden können, z. B. gezielte Pausierung von Prozessen bei minimalen Auswirkungen auf den Betriebsablauf.

Auf der Fertigungsleitebene können neben Maßnahmen der PPS auch Energiespeicher eingesetzt werden, um Lastanpassungen an ein volatiles Energieangebot durchzuführen. Falls nicht bereits vorhanden, sind Energiespeicher gegenüber anderen EFM jedoch i. d. R. mit hohen Investitionskosten verbunden. Demgegenüber können inhärente Energiespeicher Toleranzen verschiedener Zustandsgrößen in Prozessen zur Energieflexibilität nutzen, wie bspw. die Nutzung des erlaubten Temperaturbandes in einem Kühlhaus.

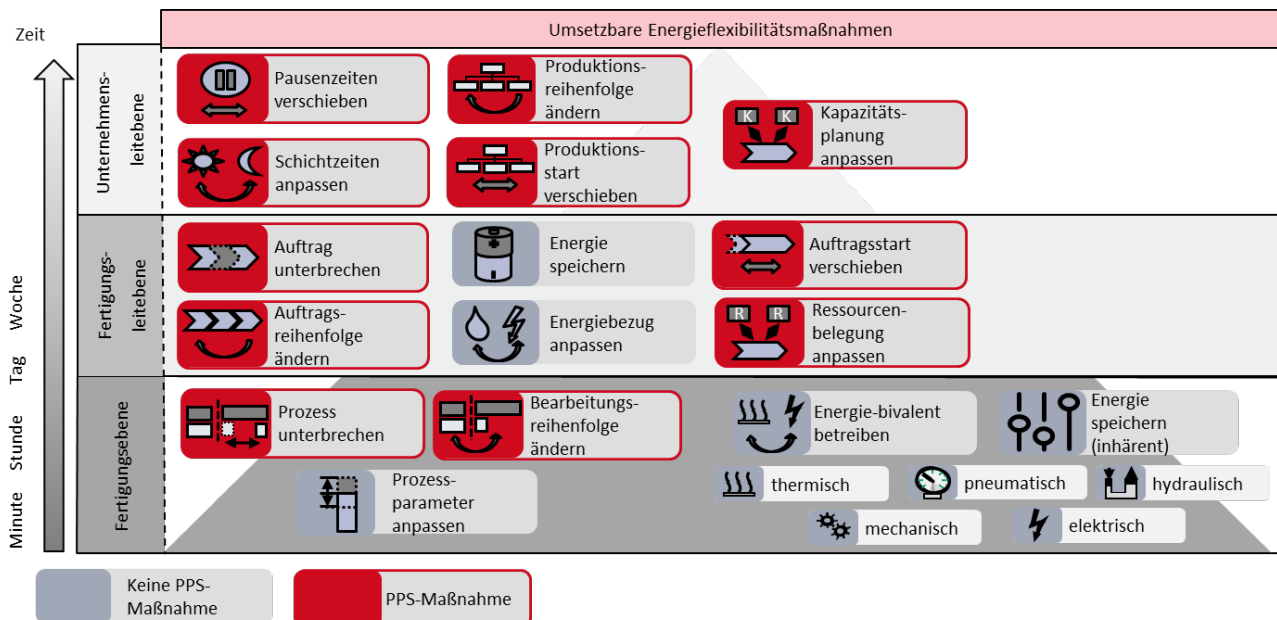


Abbildung 3 Mögliche Energieflexibilitätsmaßnahmen nach Ebene und Zeithorizont.

Zur strukturierten Bewertung von EFM können folgende Kriterien verwendet werden:

- Leistungsänderung: Höhe der reduzierten oder verschobenen Leistung.
- Zeitliche Eigenschaften: Zeitpunkt und Dauer der Maßnahme.
- Realisierbare Häufigkeit: Wie oft kann die Maßnahme umgesetzt werden?
- Restriktionen: Einschränkung durch technische, betriebliche oder prozessuale Bedingungen.

Erstellen Sie einen Katalog der identifizierten EFM und deren Bewertung gemäß den aufgeführten Kriterien. Ist die Umsetzung von EFM aufgrund von Restriktionen nicht möglich oder mit zu hohem Aufwand verbunden, ist die EFM als nicht geeignet einzustufen. Die geeigneten EFM sind nach dem potenziellen Nutzen zu ordnen. I. d. R. entsprechen eine hohe Leistungsänderung bei langer Abrufdauer und hoher Abrufhäufigkeit der EFM einem hohen Nutzen.

Datenanforderungsliste

Wir empfehlen für jede im Anlagenerfassungsbogen erfasste Anlage mit hohem Potenzial für eine EFM eine Datenanforderungsliste (Anlage 2) zu erstellen. Diese Liste dient der Spezifikation einer potenziell notwendigen Messkampagne und Dokumentation der aufgezeichneten Daten. Sofern für die Anlagen bereits repräsentative Messungen und Datenbeschreibungen vorliegen (vgl. Abbildung 1), können diese in die Datenanforderungsliste übertragen werden. In der Datenanforderungsliste werden die datentechnischen Details zu den zu erfassenden Messpunkten der Anlagen erhoben. Die folgenden Informationen helfen bei der Dokumentation sowie der Zuordnung bei künftigen Analysen (vgl. Liste in Abbildung 4):

- Signalnummer (z. B. numerische ID): Eine eindeutige Identifikationsnummer für das Signal.
- Signalbezeichnung (falls vorhanden): Bezeichnung des Signals, z. B. der Name der Anlage.
- Signalbeschreibung: Kurzbeschreibung des erfassten Wertes. Für Produktionsanlagen wird i. d. R. die „Verbrauchsleistung“ erfasst und für Erzeugungsanlagen die „Erzeugungsleistung“.
- Erzeugung/Verbrauch: Angabe, ob es sich um einen Verbraucher oder Erzeuger handelt.
- Start- und Endzeitpunkt der Messungen: Angabe zum Start- und Endzeitpunkt bei Durchführung der Messkampagne.
- Messintervall: Intervall, mit dem Daten aufgezeichnet werden (z. B. alle 15 Minuten).

Neben der Messkampagne und Optimierung können diese Informationen für Last- bzw. Erzeugungsprognosen verwendet werden. Für diesen Fall sind in der Datenanforderungsliste weitere Angaben vorgesehen:

- Signalstandort: Für die Integration von Wetterdaten in Prognosen.
- Planungshorizont: Wie weit die Prognose in die Zukunft reicht (z. B. 8 Stunden).
- Prognosehäufigkeit: Wie oft eine neue Prognose basierend auf aktuellen Daten erstellt wird (z. B. jede Stunde).

Messkonzept - Datenanforderungsliste							
Nr.	Daten	Erklärung	Restriktionen	Ansprech-partner	Anmerkung	Beispiel	Vorhanden
1	Statische Daten						
1.1	Signaldaten (Angaben pro Signal benötigt)						
1.1.1	Signalnummer	Numerische ID				111	x
1.1.2	Signalbezeichnung	Name				Lötstelle	x
1.1.3	Signalbeschreibung					Verbrauchsleistung	x
1.1.4	Erzeugung/Verbrauch					Verbrauch	x
1.1.5	Start- und Endzeitpunkt der Messungen	Die Daten sind ab diesem Zeitpunkt ohne Lücken vorhanden	Mind. 4 Wochen Daten			15.01.2024 13:15:00 - 18.03.2024 11:15:00	x
1.1.6	Messintervall		>= 5 Minuten, <= 1h			5 Minuten	x
1.2	Unternehmensdaten						x
1.2.1	Signalstandort (Adresse oder Koordinaten)	Für Wetterdatenabzug bei PV Prognose				Bingen am Rhein	
1.2.2	Planungshorizont	operativer Steuerungshorizont				4h	
1.2.3	Prognosehäufigkeit	sinnvoll sind halbe oder ganze Schichten/Tage				4h	

Abbildung 4 Beispiel einer Datenanforderungsliste. Eine Mustervorlage ist in Anlage 2 enthalten.

Durch diese strukturierte Datenanforderungsliste stellen Sie sicher, dass alle relevanten Informationen vollständig erfasst werden können bzw. erfasst sind.

Entwicklung des Messkonzepts

Ein durchdachtes Messkonzept und eine sorgfältige Auswahl der Messpunkte sind wichtig für eine präzise Datenerhebung und die Ableitung relevanter Optimierungsmaßnahmen. Durch die Berücksichtigung der Zielsetzung, technischer Rahmenbedingungen und wirtschaftlicher Aspekte können aussagekräftige Daten gewonnen werden, um effektiv Optimierungsmaßnahmen durchführen zu können. In der Auswahl der Messpunkte für die Erfassung des Strombedarfs können Sie sich an den erstellten Datenanforderungslisten orientieren. Beachten Sie dabei folgende Kriterien:

- **Relevanz für Ziele:** Priorisieren Sie Messpunkte, die wichtige Einblicke in die Optimierung des Energieverbrauchs ermöglichen können.
- **Priorisierung nach Bedeutung:** Beginnen Sie mit Anlagen, Geräten oder Prozessen, die einen signifikanten Einfluss auf den Gesamtstrombedarf haben (z. B. große Produktionsmaschinen oder Klimaanlage).
- **Zugänglichkeit:** Bevorzugen Sie Messpunkte, die leicht zugänglich sind, um die Installation, Wartung und Datenerfassung zu erleichtern.
- **Verteilung:** Platzieren Sie Messpunkte strategisch, um eine repräsentative Abdeckung verschiedener Bereiche oder Prozesse zu erreichen. Dies hilft, Engpässe und Optimierungspotenziale in unterschiedlichen Betriebsbereichen zu erkennen.
- **Kosten-Nutzen-Verhältnis:** Analysieren Sie die Installations- und Betriebskosten der Messgeräte im Verhältnis zum Nutzen der erfassten Daten. Konzentrieren Sie sich auf Messpunkte mit hohem Nutzen und verhältnismäßig geringen Kosten.

In Abbildung 5 ist das Schema eines Produktionsablaufs eines typischen stahlverarbeitenden KMU beispielhaft dargestellt und um ein mögliches Messkonzept erweitert. Entsprechend der Verbrauchsdaten und Informationen zu den Anlagen, die bei

den Prozessschritten zum Einsatz kommen, wurden die Messpunkte (MP) entsprechend der Nummerierung priorisiert.

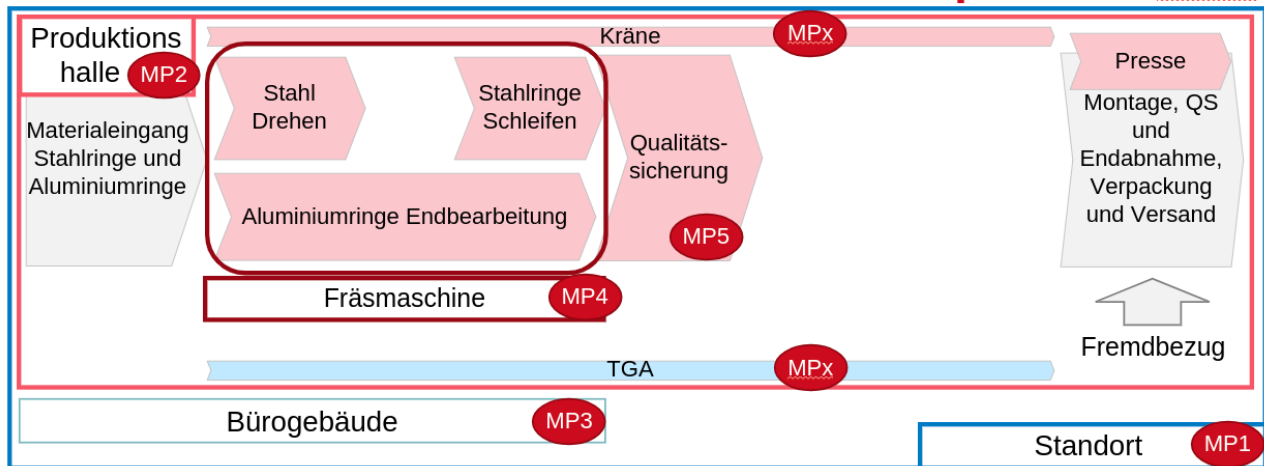


Abbildung 5 Visualisierung eines Messkonzeptes mit Darstellung einzelner Messpunkte (MP).

Der erste Messpunkt ist für den gesamten Standort vorgesehen, der zweite und dritte erfassen die Verbräuche der Produktionshalle und des Bürogebäudes. Im Beispiel war der MP1 (Strombedarf Standort) für das Messgerät nicht zugänglich. Um dennoch den Strombedarf des gesamten Standorts zu erfassen sowie Rückschlüsse auf mögliche produktionsunabhängige Ineffizienzen zu ziehen, wurde neben des Strombedarfs der Produktionshalle auch der Strombedarf des Bürogebäudes gemessen. Die Fräsmaschine stellt den vierten Messpunkt dar und ist der größte Stromverbraucher in der Produktionshalle. Die Qualitätssicherung findet mit Hilfe von Anlagen zur präzisen Vermessung der Bauteile statt, wobei der Raum klimatisiert sein muss. Der Strombedarf der Klimatisierung wird als hoch eingeschätzt (mit Potenzial zur Energieflexibilität), sodass eine Erfassung als Messpunkt fünf geplant wird. Die technische Gebäudeausstattung (TGA) und Kräne sind mögliche Erweiterungen.

Messung, Energiemanagementsystem, Kennzahlen

Eine temporäre Messkampagne oder permanente Installation von Messzählern bildet die Grundlage für nachfolgende Analyseschritte. Sie ist mit Kosten und Aufwand verbunden. Neben einem durchdachten Messkonzept (vgl. vorheriges Kapitel) spielt daher die Auswahl geeigneter Messtechnik eine entscheidende Rolle. Bei einer dauerhaften Installation ist auf Interoperabilität der Messtechnik, Anlagentechnik und des Energiemanagementsystems zu achten. Die erfassten Stromverbräuche lassen sich in ein Energiemanagementsystem integrieren, um sie visualisieren und analysieren zu können. Typische Kennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) helfen Ihnen dabei die Energieeffizienz und -flexibilität Ihrer Prozesse über einen längeren Zeitraum zu bewerten.

Messung und Integration in ein Energiemanagementsystem

Als Grundlage für die Messung(en) dient Ihr entwickeltes Messkonzept. Durch temporäre Messungen lassen sich repräsentative Daten zur ersten Analyse und Bewertung potenzieller Optimierungsmaßnahmen erfassen. Basierend auf den Erkenntnissen können folgend Messpunkte zur Installation permanenter Messzähler ausgewählt werden. Sofern vorab bereits eine kontinuierliche Erfassung der Lastgänge einzelner Messpunkte gewünscht ist, kann für diese auch direkt eine permanente Messzählerinstallation durchgeführt werden.

Abhängig vom notwendigen Messbereich an den Anlagen ist eine Vielzahl von portablen Messgeräten¹ erhältlich. Zum Energiemanagement stehen einige kommerzielle und Open Source Softwares zur Verfügung². Im Rahmen des Projekts wurde mit dem PowerScope eine innovative Hardware-Softwarelösung entwickelt, die eine nicht-invasive, dreiphasige Messung des Energieverbrauchs und eine direkte Integration der Daten in ein Energiemanagementsystem ermöglicht. Als Basis für die Lösung dient das offene Energiemanagementsystem OpenEMS, das eine flexible und vollwertige Plattform für das Management, die Analyse und die Optimierung des Energieverbrauchs bereitstellt. Der PowerScope kann ohne größeren Aufwand installiert werden (siehe Abbildung 6). Dadurch wird es Anwendern ermöglicht, erste Erfahrungen im Bereich Energiemanagement zu sammeln und schrittweise ein tieferes Verständnis für die Optimierung von Energieverbrauch und -verteilung zu entwickeln.

Im Folgenden wird die temporäre Messung anhand dieses Messgeräts übersichtlich dargestellt. Eine detaillierte Anleitung zur Inbetriebnahme der Messtechnik und der Bedienung und Konfiguration des Energiemanagementsystems ist in Anlage 3 bereitgestellt. Die Messung erfolgt entweder über eine Drehstrom-Zwischenstecklösung oder mithilfe externer Messwandler. In Abbildung 6 ist exemplarisch die nicht-invasive Messung angeschlossen in dem Zählerschrank einer Anlage dargestellt. Im Gegensatz zu den externen Stromwandlern kann die Messtechnik mit Hilfe von Blindsteckern, die auf die Eingänge der externen Wandler gesteckt werden, als Zwischenstecklösung mit integrierten Messwandlern eingesetzt werden. Der Eingriff in elektrische Anlagen darf nur durch geschultes Personal z. B. die Elektrofachkraft erfolgen.

¹https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul3_Energiemanagementsysteme/modul3_energiemanagementsysteme_node.html

²https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/Modul3_Energiemanagementsysteme/ems_liste_foerderfaehige_software.html

Die erfassten Lastgänge werden lokal gespeichert und können über den vom Gerät angebotenen WLAN-Zugangspunkt in der OpenEMS-Weboberfläche visualisiert werden. Alternativ können die Messwerte drahtlos oder -gebunden direkt in ein extern installiertes Energiemanagementsystem übertragen und dort visualisiert werden.



Abbildung 6 PowerScope mit Installationsbeispielen von externen Stromwandlern.

Für eine permanente Integration kann OpenEMS auch auf leistungstärkeren Systemen, wie z. B. einem externen Server betrieben werden. Mit einer höheren Rechnerleistung erhöht sich auch die Verarbeitungskapazität, was insbesondere bei der Verarbeitung umfangreicher Datensätze oder bei der Integration zahlreicher Komponenten (Messtechnik, Inverter, Batteriespeichersysteme, Ladeinfrastruktur, Wärmepumpen, steuerbare Lasten, etc.) vorteilhaft ist. Zudem unterstützt OpenEMS bereits zahlreiche dieser Komponenten und Energiemanagementanwendungen. Für weitergehende Erläuterungen verweisen wir an dieser Stelle auf die Dokumentation³ von OpenEMS.

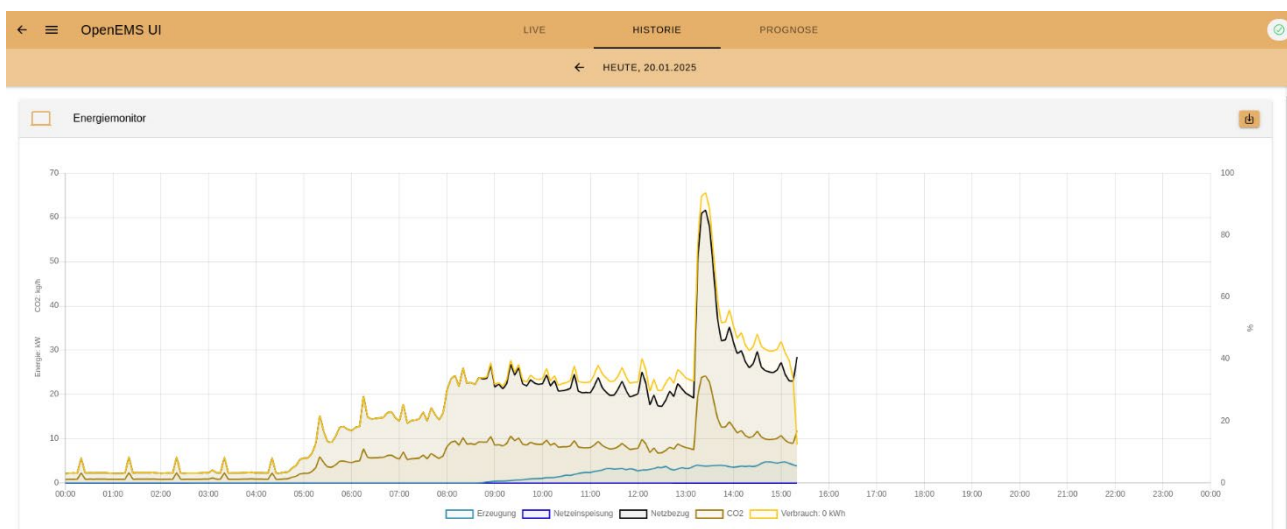
³<https://openems.github.io/openems.io/openems/latest/introduction.html>

Vor tiefergehenden Analysen sollten Sie die erfassten Messwerte verifizieren, um ihre Konsistenz und Zuverlässigkeit sicherzustellen. Hierzu können Sie die Lastgänge mit Referenzwerten oder bereits bestehenden Messzählern vergleichen z. B., falls ein Lastgang an einem übergeordneten Messpunkt bereits vorliegt.

Sobald ein Datenabzug vorliegt, der die erfassten Anlagen- und Messdaten enthält, können die Lastgänge analysiert werden. Um die Analyse und weitere Schritte erfolgreich durchführen zu können, prüfen Sie bitte vorab die Datenqualität aller Messpunkte. Diese sollte die folgenden Anforderungen erfüllen (vgl. Abschnitt „Entwicklung eines Messkonzepts“):

- **Zeitraum:** Die Messdaten je Anlage decken einen repräsentativen Zeitraum ab.
- **Umfang:** Die Granularität der Messpunkte ist ausreichend, um potenzielle Optimierungsmaßnahmen bewerten zu können.
- **energieflexible Anlagen:** Alle relevanten energieflexiblen Anlagen sind in den Daten enthalten.
- **Datenvollständigkeit:** Es sind keine Datenlücken in den erfassten Messpunkten vorhanden.

Die Visualisierungs- und Analysefunktionen des Energiemanagementsystems sind in Abbildung 7 dargestellt. Im Reiter „Historie“ werden für alle Messpunkte die Lastverläufe von Stromverbrauchern, Stromerzeugern und dem Netzverknüpfungspunkt überlagert dargestellt. Der Reiter „Live“ gibt einen Überblick über aktuelle Kennzahlen wie den Netzbezug und die Einspeisung sowie Lasten aller gemessenen Stromverbraucher.



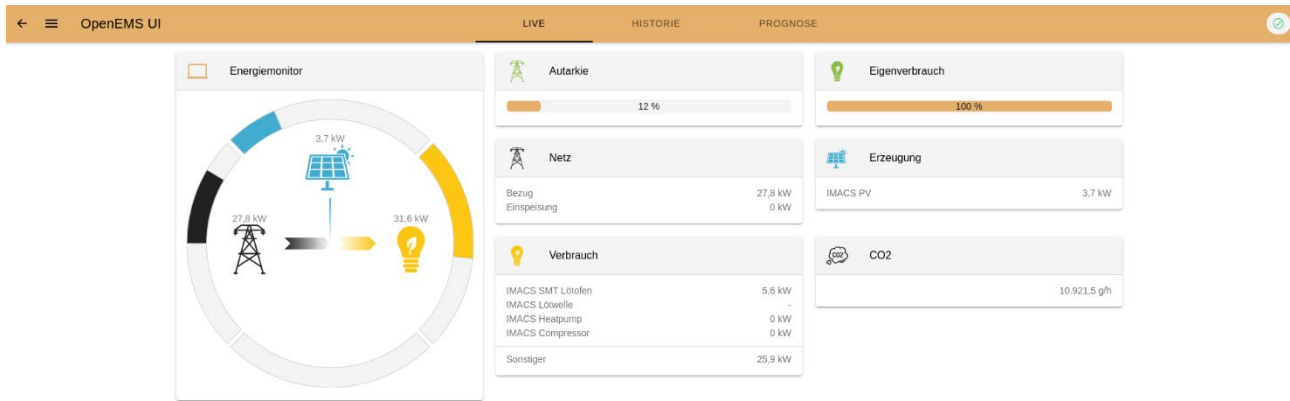


Abbildung 7 Visualisierung von historischen und Live-Daten mittels OpenEMS.

Identifikation und Visualisierungsmöglichkeiten geeigneter Kennzahlen

Die Erfassung und Auswertung von Kennzahlen ist ein zentraler Bestandteil der Analyse und Bewertung von Energiedaten. Im Folgenden werden Kennzahlen nach den Vorgaben der ISO 50006 vorgestellt. Diese liefert allgemeingültige Ansätze zur Definition und Nutzung von Energiekennzahlen (EnPIs – Energy Performance Indicators). Die Kennzahlen werden über einen bestimmten Zeitraum betrachtet und können zusätzlich auf eine Bezugsgröße normiert werden. Folgende Unterscheidungen sind üblich:

- **Absolute Kennzahlen:** Zum Beispiel Gesamte Energieverbräuche oder Emissionen in kWh Strom pro Jahr.
- **Relative Kennzahlen:** Werte, die in Bezug auf eine Leistungseinheit normiert sind, beispielsweise Energieverbrauch pro produzierte Stückzahl in kWh Strom pro STK (gemittelt über Messzeitraum, z. B. einen Monat).
- **Normierte Kennzahlen:** Werte, die um externe Einflussfaktoren bereinigt wurden, wie z. B. Temperatur oder Produktionsauslastung.

Innerhalb des Energiemanagements sind insbesondere relative Kennzahlen sinnvoll, da diese den Strombedarf in Relation zu einer Leistungseinheit – wie der produzierten Stückzahl – setzen und somit eine bessere Vergleichbarkeit sowie Aussagekraft hinsichtlich der Energieeffizienz bieten.

Durch verschiedene Diagrammtypen und Verhältnisse mehrerer Kennzahlen können vertiefte Einblicke in Energiebedarf und -erzeugung produzierender Unternehmen gewonnen und oftmals erste Potenziale erkannt werden.

Zur Kennzahlbildung und Visualisierung außerhalb der OpenEMS Software wird in Anlage 4 ein Excel-basiertes Werkzeug zur Verfügung gestellt. In dieses können u.a. die von OpenEMS exportierten Zeitreihendaten der Stromverbraucher und -erzeuger zusammen mit Angaben über Messzeitraum und Messgranularität eingetragen werden. Aus diesen Daten werden dann beispielhaft Visualisierungsvarianten der Kennzahlen erstellt. Mögliche Visualisierungen von Kennzahlen mit Hilfe des Werkzeugs sind in Abbildung 8 dargestellt.

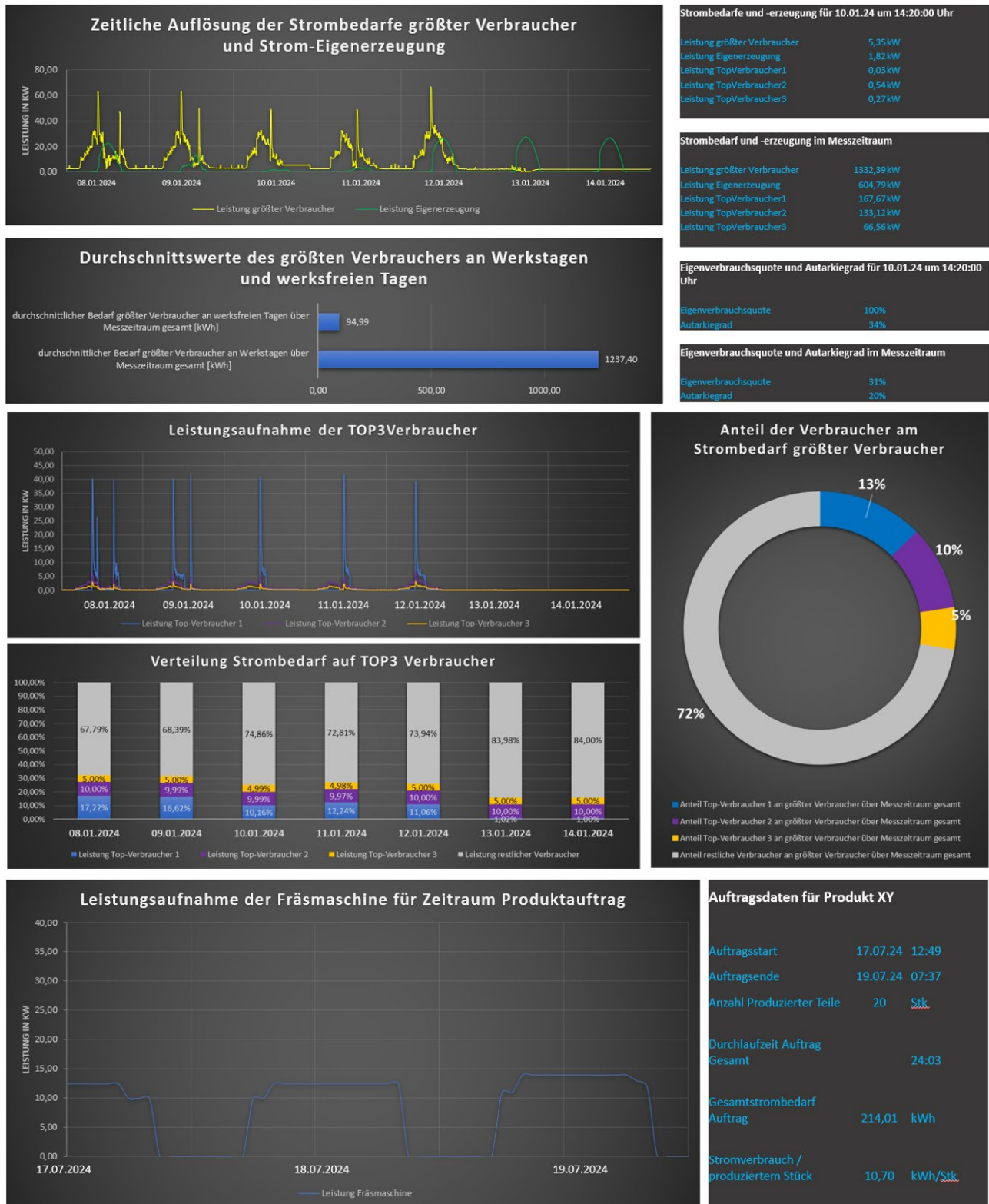


Abbildung 8 Beispielhaftes Dashboard zur Darstellung energiebezogener Kennzahlen.

Ableitung exemplarischer Optimierungsmaßnahmen

Basierend auf einer übersichtlichen Datenbasis zu energieflexiblen Anlagen, Lastgängen und Energiekennzahlen lassen sich geeignete Optimierungsmaßnahmen identifizieren, bewerten und durchführen. Exemplarisch werden im Folgenden aus dem Projekt EILE die Maßnahmen Lastverschiebung, Verlaufsprognose und Variantenberechnung eines typischen elektronikverarbeitenden KMU vorgestellt.

Implementierung von Lastverschiebungsstrategien

Als eine der drei möglichen Optimierungen durch Energieflexibilität (vgl. Abschnitt „Identifikation und Bewertung von Energieflexibilitätsmaßnahmen“) soll nachfolgend die Lastverschiebung für einen Lötoven vorgestellt werden. Im Fokus stand die zeitliche Steuerung der Betriebszeiten des Lötovens, wobei relevante Messdaten sowie Restriktionen aus der Produktion erfasst wurden. Das identifizierte Energieflexibilitätspotenzial wurde in einem Flexibilitätssteckbrief festgehalten, der die wesentlichen Parameter und Möglichkeiten zur energieflexiblen Nutzung beschreibt. Dieser Ansatz könnte auf andere Anlagen übertragen werden, z. B. auf den Betrieb einer Wärmepumpe, um dort ähnliche Potenziale zur Energieflexibilisierung und Optimierung zu erschließen.

Um die tatsächlichen Kosteneinsparungen zu bestimmen, wurden reale Messdaten in ein Modell einer Energiesimulationssoftware integriert, um den Lastgang des energieflexiblen Verbrauchers, hier des Lötovens, an den Stromerzeugungslastgang der PV-Anlage anzupassen. Ziel der Optimierung war es, die Eigenverbrauchsquote zu erhöhen. In diesem Fall bedeutete dies, den Lastgang des Ofens simulativ in die Zeitpunkte hoher Stromeigenerzeugung zu schieben, um den teureren Stromnetzbezug zu senken.

Das im Projekt erstellte Modell zeigte, dass durch die gezielte Anpassung ohne zusätzliche Investitionskosten eine Stromkosteneinsparung von 3,85 % im Vergleich zum Ist-Zustand erzielt werden konnte. Als Hinweis ist zu erwähnen, dass der Lötoven bereits größtenteils während den Hauptsonnenstrahlstunden betrieben wurde und die zeitliche Verschiebung des Startpunkts im jährlichen Mittel ungefähr eine Stunde betrug. Abbildung 9 zeigt die elektrischen Lastgänge des gesamten Standorts, des Lötovens sowie der PV-Stromerzeugung eines ausgewählten Sommertages des im Projekt untersuchten Anwendungsfalls. Hier wird deutlich, dass durch die Anpassung des Ofenbetriebs an die Erzeugungsleistung der PV-Anlage (und an Zeiten geringer sonstiger Stromverbraucher) eine mögliche Lastspitzenreduktion des netzseitigen Strombezugs um ca. 35 kW möglich wäre. Potenziell wären dadurch zusätzliche Einsparungen in Höhe von 3.500 € pro Jahr möglich (bei anfallendem Leistungspreis für die Jahreshöchstlast mit ca. 100 € / kW).

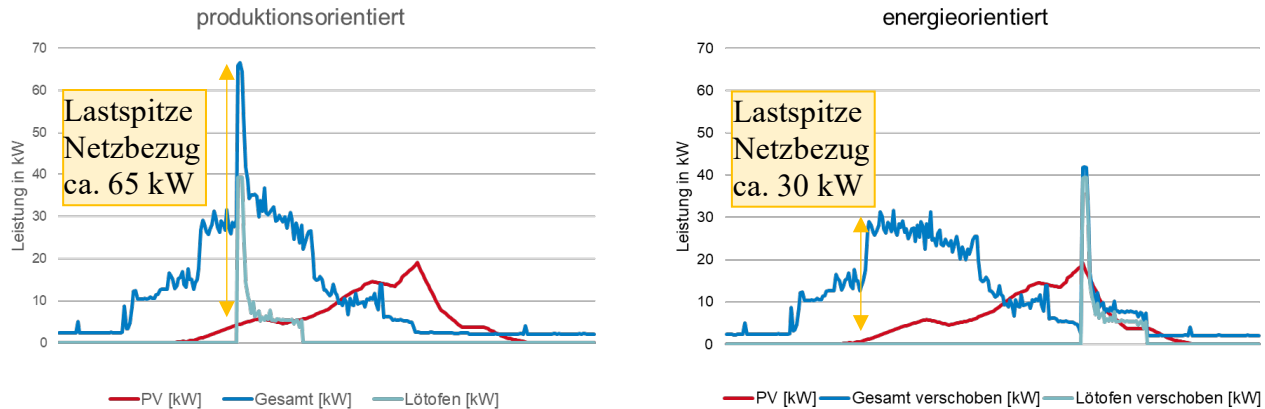


Abbildung 9 Energieorientierter Ofenbetrieb eines ausgewählten Sommertages.

Verlaufsprognosen

Das Prognosemodul für OpenEMS bildet durch die Ausgabe präziser Vorhersagen von Stromverbräuchen und -erzeugungen die Grundlage für eine zukunftsgerichtete Optimierung. Die Implementierung des Prognosemoduls erweitert OpenEMS um eine leistungsfähige, vorausschauende Komponente, muss aber separat integriert werden. Sie dient sowohl zum Benchmarking unterschiedlicher Prognosemodelle als auch zur Identifikation zukünftiger Lastspitzen und Zeiträume mit hoher Eigenerzeugung. Dazu stehen die folgenden Variablen im Fokus der Prognosen:

- Nicht-flexible Lasten, wie z. B. die Grundlast eines Gebäudes oder nicht steuerbare Geräte
- Stromerzeugungsleistung aus Eigenerzeugungsanlagen wie PV-Anlagen

Die Prognosen der beiden Variablen in OpenEMS sind für einen beispielhaften Zeitpunkt in Abbildung 10 zu sehen. Energieflexible Lasten, wie der zuvor genannte Lötöfen, können basierend auf diesen Prognosen gezielt gesteuert werden: Entsprechende Anlagen und Geräte werden beispielsweise eingeschaltet, wenn ausreichend PV-Strom verfügbar sein wird, oder so geplant, dass Stromspitzen im Grundlastprofil nicht verstärkt werden. Diese Steuerung trägt dazu bei, Lastspitzen zu vermeiden, den Eigenverbrauch zu maximieren und die Energiekosten zu senken. Für Unternehmen mit Zugang zum Strommarkt könnten darüber hinaus präzise Prognosen im Zusammenhang mit dynamischen Strompreisen als Entscheidungsgrundlage für den Stromkauf dienen, da so günstige Einkaufszeiten besser genutzt werden können. Die Anpassung der Prognosevariablen ist durch eine Konfigurationsdatei möglich.

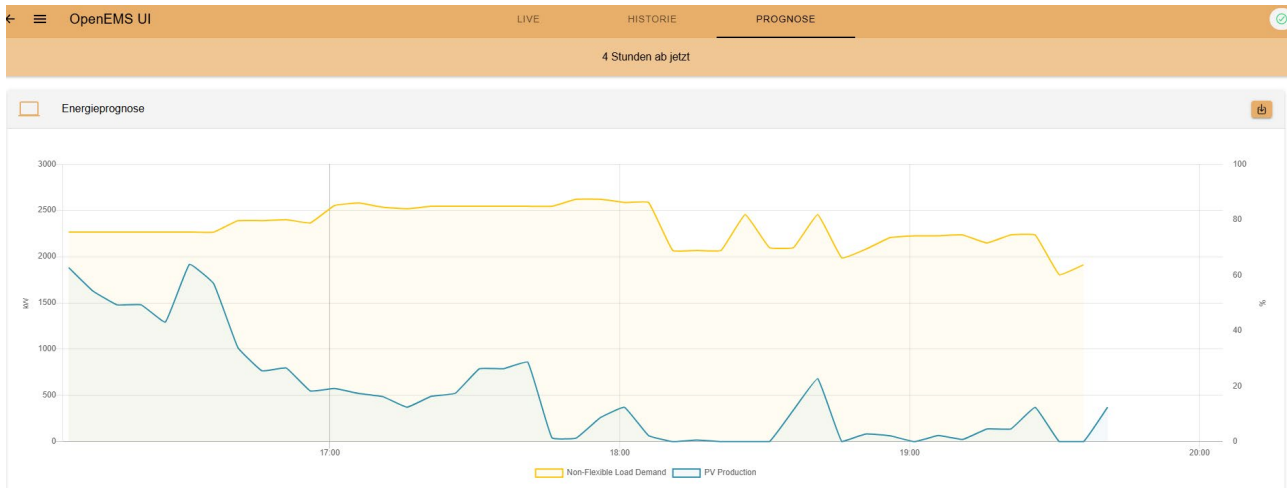


Abbildung 10 Visualisierung der Prognose von PV-Erzeugung (blau) und Nicht-flexiblen Lasten (gelb) für die jeweils nächsten vier Stunden in OpenEMS.

Das Prognosemodul bedarf einigen Voraussetzungen für die Nutzung:

- Historische Verbrauchsdaten über einen repräsentativen Zeitraum: i.d.R. von Gesamtlast, inkl. flexibler Lasten und ggf. Stromerzeugungsanlagen
- Separates System mit Internetzugang und Zugriff auf die Datenbank von OpenEMS: Zur Ausführung des Prognosemoduls (Implementiert als Docker Container)
- Zugriffsberechtigung auf Wetterdaten: z. B. OpenWeather⁴, i.d.R. kostenlos

Eine vollständige Integration des Prognosemoduls in OpenEMS erfordert jedoch deutlich mehr Aufwand und IT-Kenntnisse und würde den Rahmen dieses Praxishandbuches übersteigen.

Auch ohne die Einbindung des Prognosemoduls können bereits in OpenEMS integrierte Implementierungen, wie eine Schwellwertsteuerung genutzt werden, wobei hierbei abhängig vom Ist-Zustand, z. B. die Höhe der Netzeinspeisung, der Stromerzeugungsleistung oder des Netzbezugs, ein Stromverbraucher aktiviert oder deaktiviert werden kann.

Somit kann der Eigenverbrauch auch ohne Prognosen optimiert werden, wobei Prognosen eine langfristige Planung ermöglichen und entsprechend größeres Optimierungspotenzial bieten.

Variantenberechnung

Um das Energiemanagement kontinuierlich zu verbessern und auf zukünftige Anforderungen anzupassen, können auf Basis der erfassten Lastgänge auch Datenanalysen und Simulationen eingesetzt werden. Dazu werden exportierte Monitoring-Daten in Energiesimulationswerkzeugen genutzt, um verschiedene Varianten und Strategien des Energiesystems zu testen. Das betrifft Auswirkungen von Änderungen in der Systemkonfiguration oder der Steuerung energieflexibler Verbraucher.

⁴<https://openweathermap.org/api>

In Rahmen des Projekts EILE wurde der Ist-Zustand eines Unternehmens in der Energiesimulationssoftware TOP- Energy⁵ modelliert und um mögliche Erweiterungen des Energiesystems ergänzt (schemenhafte Darstellung in Abbildung 11).

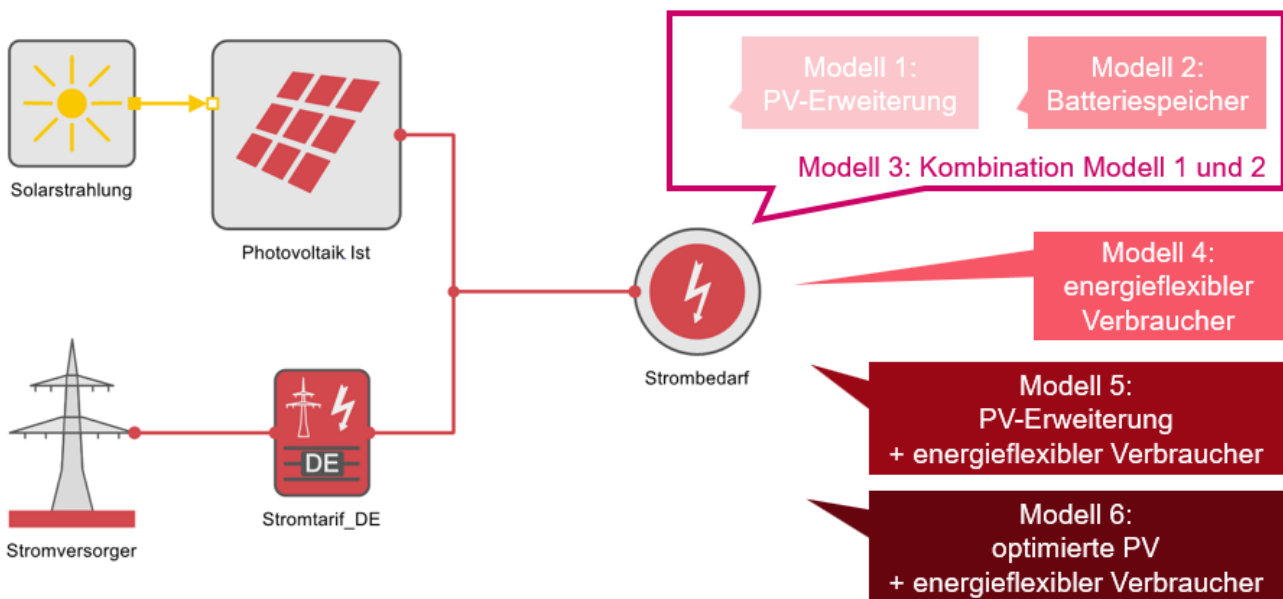


Abbildung 11 Mögliche Erweiterungen des Energiesystems in Energiesimulationssoftware.

Aus den Messdaten (vier Wochen) wurde ein synthetischer Lastgang für ein Jahr erstellt (zweckmäßig falls Produktion witterungsunabhängig). Mit entsprechenden wirtschaftlichen Eingabewerten konnte der Ist-Zustand des Energie- und Produktionssystems modelliert werden. Mögliche Erweiterungen, wie eine zusätzliche PV-Anlage oder ein Batteriespeicher stellen Varianten des Modells dar. Zudem kann der Strombedarf der energieflexiblen Produktionsanlage separat betrachtet und zeitlich manipuliert werden, um eine EFM in der Simulation widerzuspiegeln. Durch die simulative Betrachtung mehrerer Erweiterungen kann die kostenoptimale Variante des Energiesystems ermittelt werden.

⁵<https://www.top-energy.de/>

Ausblick

Das Praxishandbuch spiegelt wesentliche Schritte zur Implementierung eines Energiemanagements insbesondere bei KMU, anhand von Vorlagen und Lösungen des Projekts EILE wider.

Falls Sie Interesse an vertieften Einblicken zum Praxishandbuch bzw. Projekt EILE oder detaillierten Anwendungen haben, kommen Sie gerne auf uns zu.

Insbesondere unterstützen wir Sie gerne bei:

- Implementierung eines Energiemanagements,
- Erstellung eines Messkonzepts,
- Durchführung von Messkampagnen,
- Ableitung von Kennzahlen,
- Implementierung von Lastverschiebungsstrategien,
- Erstellung von Verlaufsprognosen und
- Berechnung von Varianten sowie Durchführung von Simulationsstudien.

Das Praxishandbuch zeigt die Bedeutung eines strukturierten Vorgehens für ein effektives Energiemanagement auf und bietet konkrete Hilfestellungen für Unternehmen, die ihre Energieeffizienz steigern und CO₂-Emissionen reduzieren möchten.

Vielen Dank für Ihr Interesse! Wir hoffen, dass wir Ihnen mit diesem Praxishandbuch einen ersten Einblick in die Umsetzung und Implementierung eines Energiemanagementsystems geben konnten. Sollten Sie Fragen, Anmerkungen oder Bedarf an Unterstützung bei der Umsetzung haben, zögern Sie bitte nicht, uns zu kontaktieren. Wir freuen uns darauf, Sie bei Ihren Projekten zu begleiten und gemeinsam nachhaltige Lösungen zu entwickeln.

Kontakt

Dr. Wolfgang Köhler
koehler@fortiss.org
+49 (89) 360 3522 172

Dr. Markus Duchon
duchon@fortiss.org
+49 (89) 360 3522 30

Anlagen

Anlage 1 Anlagenerfassungsbogen

Anlage 2 Datenanforderungsliste

Anlage 3 Inbetriebnahme Messtechnik

Anlage 4 Excel-basiertes Werkzeug zur Kennzahlenvisualisierung