

# SYSTEMATISCHE ENERGIEDATENERFASSUNG UND – AUSWERTUNG IN KMU-BETRIEBEN DURCH DEN EINSATZ MOBILER MESSTECHNIK

Lukas HILGER\*, Thorsten SCHNEIDERS

Technische Hochschule Köln, Cologne Institute for Renewable Energy (CIRE),  
Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, Deutschland, +4922182754547,  
{lukas.hilger | thorsten.schneiders}@th-koeln.de, www.th-koeln.de

## **Kurzfassung:**

Im Rahmen des Forschungsprojekts „*Virtuelles Institut Smart Energy – Smarte Technologien für Unternehmen*“ wird ein Anwendungstest smarterer Technologien in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) durchgeführt. Als erster Lösungsansatz wurde dabei die systematische und strukturierte Effizienzanalyse von KMU-Betrieben unter Einsatz mobiler Messtechnik entwickelt. Vor-Ort-Begehungen und Analysen in verschiedenen Unternehmen haben gezeigt, dass die Energieflüsse (Strom und Wärme) in KMU-Betrieben häufig unbekannt sind. An dieser Stelle kann der Einsatz eines mobilen Messkoffers zur Erhebung von elektrischen Lastprofilen einzelner Teilbereiche bzw. Verbrauchergruppen einen entscheidenden Beitrag zur Energie-transparenz liefern. Erste Ergebnisse des Anwendungstests zeigen, dass gerade messtechnisch belegte Detailanalysen zu Verbrauchern und identifizierten Auffälligkeiten in Lastprofilen Unternehmer\*innen eine fundierte Entscheidungsgrundlage bieten, Energieeffizienzmaßnahmen umzusetzen.

**Keywords:** Energieeffizienz, mobile Messtechnik, Energiemonitoring, Effizienzanalyse

## **1 Einleitung**

Bedingt durch die Vorgaben der EU-Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU) sowie die voraussichtlich bis zum Jahr 2040 kontinuierlich steigenden Strompreise (EU Energy Outlook 205) kommt der Energieeffizienz-Thematik gerade im verbrauchsstarken Industrie- und Gewerbesektor eine entscheidende Rolle zu [1]. Zur Erreichung der auf EU-Ebene vorgegebenen Zielwerte (u.a. Reduzierung des Primär- und Endenergieverbrauchs um mindestens 32,5 % bis 2030) wird neben dem kontinuierlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien die Effizienzsteigerung wichtiger denn je [2].

Um den EU-Vorgaben auf nationaler Ebene nachzukommen, hat die Deutsche Bundesregierung im Dezember 2019 die Effizienzstrategie (EffSTRA) 2050 veröffentlicht. Aus dieser geht hervor, dass neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien (65 % bis 2030) eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz notwendig ist, um die Klimaziele (u.a. 50 % Einsparung des Primärenergieverbrauchs bis 2050) zu erreichen. Vor diesem Hintergrund legt die Bundesre-

gierung in der Effizienzstrategie eine Reduzierung von mindestens 30 % des Primärenergieverbrauchs bis 2030 als nationales Effizienzziel für das Jahr 2030 fest [2]. Neben Einsparungen im Erzeugungssektor (700 TWh), die durch den kontinuierlichen Zubau Erneuerbarer Energien erzielt werden sollen, sind Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion beim Endverbraucher in den Sektoren Haushalte, Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD<sup>1</sup>) vorgesehen (insges. 500 TWh). Dazu werden zukünftig im NAPE 2.0 zusätzliche Maßnahmen und Instrumente zur Reduktion des Endenergieverbrauchs geschaffen [2].

In diesem Kontext wird in der Digitalisierung und dem damit einhergehenden Einsatz digitaler, smarterer Technologien ein „Enabler“ für neue Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft und eine Chance zur Steigerung der Energieeffizienz in den Verbrauchssektoren gesehen [2]. Die Bereitstellung detaillierter Informationen über Energieverbräuche durch den Einsatz von Energiemonitoring-Systemen, der Einsatz neuer Technologien wie künstliche Intelligenz (KI) in der Datenauswertung und -analyse sowie digitale Lösungen in der Energieberatung sind nur einige Themenfelder, anhand derer die Chancen der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz deutlich werden [2].

### 1.1 Energieeffizienzpotential in mittelständischen Unternehmen

Vor dem Hintergrund der zukünftig steigenden Bedeutung von Energieeffizienz stehen gerade die verbrauchsstarken Sektoren (Industrie- und GHD-Sektor) vor neuen Herausforderungen in Bezug auf Energieeinsparungen. Mit einem Anteil von 45 % (1.128 TWh) am Gesamtendenergieverbrauch und etwa 75 % (380 TWh) am Gesamtstromverbrauch Deutschlands haben diese Sektoren einen entscheidenden Einfluss auf der Energienachfrageseite [2]. Das Effizienzpotential in der Industrie und im verarbeitenden Gewerbe wird allgemein als hoch eingestuft [3]. Studien und Analysen (u.a. *Fraunhofer ISI*, [4]) führen Energieeinsparpotentiale von durchschnittlich 15 % in der Produktion auf.

Ein Großteil der Effizienzpotentiale lässt sich gerade in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU-Betriebe) erschließen, wie aus den Studien von *IREES (2013)* [5] und *PwC (2015)* [6] ersichtlich wird. Demnach könnte über ein Drittel der KMU-Betriebe die Energiekosten durch Investitionen in Energieeffizienz um mindestens 20 % reduzieren [6]. Bedingt durch die Tatsache, dass KMU-Betriebe nach EU-Definition<sup>2</sup> etwa 99,5 % der Unternehmen in Deutschland ausmachen, lässt sich ein entsprechend hohes Gesamteinsparpotential für mittelständische Betriebe ableiten [7].

Der Grund für die bisher nicht genutzten Effizienzpotentiale im KMU-Bereich liegen vor allem in der Tatsache begründet, dass Entscheidungsträger sich der Relevanz für das Thema nicht bewusst sind. Häufig wird ein Mangel an Zeit, Wissen und personeller Ressourcen genannt, die verhindern sich detailliert mit dem Thema Energieeffizienz im Unternehmen auseinander zu setzen [8]. Neben der Betriebsgröße ist die Nutzung von Effizienzlösungen aber auch vom Energiebedarf abhängig, wie eine Analyse des *Fraunhofer ISI* [4] zeigt. Demnach sind investitionsintensivere und komplexere Effizienztechnologien und -strategien in deutlich größerem

---

<sup>1</sup> Gewerbe-Handel-Dienstleistungen

<sup>2</sup> Nach EU-Richtlinie 2003/361/EG gelten für die KMU-Definition quantitative Faktoren (Anzahl Mitarbeiter (< 250), Jahresumsatz (max. 50 M€) und Jahresbilanzsumme (max. 43 M€)).

Umfang in Unternehmen mit hohem Energiebedarf im Einsatz, als in Betrieben mit niedrigem Energiebedarf. Hinzu kommt, dass kleinere Betriebe weitaus weniger digitale, smarte Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz einsetzen und auch nicht die Chancen in den mit der Digitalisierung einhergehenden smarten Produkten zur Effizienzsteigerung sehen [9].

In diesem Kontext wird im Rahmen des Forschungsprojekts „*Virtuelles Institut Smart Energy – Smarte Technologien für Unternehmen*“ ein Anwendungstest in KMU-Unternehmen durchgeführt. Ziel ist es, Lösungsansätze basierend auf dem Einsatz smarterer Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz sowie des Energie- und Lastmanagements in KMUs zu entwickeln. Nachfolgend wird auf den ersten identifizierten Lösungsansatz und insbesondere die in diesem Zuge entwickelte Methodik eingegangen [10].

## 1.2 Einsatz eines mobilen Messsystems im Anwendungstest

Die Tatsache, dass smarte Technologien bisher nur vereinzelt Anwendung in KMU-Betrieben finden, hat sich auch im Zuge von Vor-Ort-Begehungen in mittelständischen Unternehmen (insges. acht Betriebe aus unterschiedlichen Branchen) bestätigt. Es wurde u.a. deutlich, dass die Energieflüsse in den analysierten Unternehmen unbekannt sind, keinerlei Messtechnik verbaut ist und selbst Energieverbrauchsdaten des örtlichen Energieversorgers nicht analysiert werden [10]. Aufgrund der Bedeutung von „Energietransparenz“ in Bezug auf die Quantifizierung von Einsparpotentialen in Unternehmen (vgl. [4, 11, 12]) wurde die systematische und strukturierte Effizienzanalyse von KMU-Betrieben unter Einsatz eines mobilen Messsystems als erster Lösungsansatz entwickelt.

Die energetische Analyse eines Unternehmens, wie unter anderem in der BAFA<sup>3</sup> *Energieberatung Mittelstand* durchgeführt, umfasst aktuell keinen verpflichtenden Einsatz von Messtechnik zur Identifikation von Effizienzpotentialen. Der Energieverbrauch kann daher „bei nicht kontinuierlich gemessenen Verbrauchern [...] auch durch nachvollziehbare Hochrechnungen von bestehenden Betriebs- und Leistungsdaten [...] ermittelt werden“ [3]. In der Praxis hat sich dadurch gezeigt, dass Energieberater hauptsächlich aus Zeitmangel meistens keine Messungen des Energieverbrauchs im Rahmen der energetischen Analyse durchführen [11].

Der Markt für Energiemonitoring-Systeme reicht von der einfachen mobilen Strommessung bis hin zu stationären energieträgerübergreifenden (Strom, Wärme, Wasser, Temperatur,...) Messdatenerfassung und deren Auswertung und Analyse im Kontext von Energiemanagement-Systemen. Um in einem ersten Schritt den energetischen Ist-Zustand eines Unternehmens zu bestimmen und die Energieflüsse transparent zu machen, eignet sich insbesondere mobile Messtechnik. Analog zum Ansatz von *Hein et al. (2018)* [11] soll sich der Einsatz des mobilen Messsystems zunächst auf die elektrische Leistungsmessung beschränken. Basierend auf einem Technologie-Screening wurde die im Anwendungstest verwendete Messtechnik nach den folgenden Kriterien, die auch für die in Kapitel 2 beschriebene Methodik relevant sind, ausgewählt (s. Tabelle 1):

---

<sup>3</sup> Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

Tabelle 1: Kriterien für die Auswahl des mobilen Messsystems im Anwendungstest

Kriterium	Erläuterung
Elektrische Leistungsmessung	Die mobile elektrische Leistungsmessung ist aufgrund der eingesetzten Stromwandler sowie Spannungsabnahme im Vergleich zur messtechnischen Erfassung anderer Energieträger (z.B. Wärme) mit geringem Installationsaufwand möglich.
Parallele Teilbereichsmessung	Um den Gesamtstromverbrauch möglichst schnell und effizient aufzuschlüsseln, sollten mehrere Teilbereiche bzw. Verbraucher parallel gemessen werden können.
Fernauslesung	Für einen Plausibilitätscheck und die spätere Analyse der Messdaten sollten diese durch entsprechende Hard- und Software direkt in einem Online-Webtool verfügbar sein.

Im Zuge der Recherche geeigneter Messsysteme entsprechend der o.g. Kriterien hat sich herausgestellt, dass gerade die parallele Messung mehrerer Teilbereiche die Auswahl geeigneter Systeme auf der Anbieterseite deutlich einschränkt. Zwar werden durchaus viele mobile Messsysteme in Form von Messkoffern angeboten, jedoch ist der Großteil dieser Messsysteme auf die dreiphasige Messung von lediglich einem Teilbereich bzw. Verbraucher beschränkt oder bietet einen Mix aus Strom-, Temperatur- und sonstiger Betriebsdatenerfassung in einem Koffer an.

Die für den Anwendungstest sinnvollste Lösung bot die Firma *manageE GmbH* mit dem mobilen Messkoffer *me2go* (s. Abbildung 1). Mit dem Messkoffer lässt sich die parallele elektrische Leistungsmessung von bis zu sechs Teilbereichen bzw. Verbrauchern realisieren. Entsprechend der dreiphasigen Messung sind in Abbildung 1 insgesamt 18 Messsteckplätze erkennbar. Die Spannungsversorgung wird über den 400V CEE-Stecker sichergestellt. Zur Aufnahme der Stromwerte werden Klappstromwandler und Rogowski-Spulen verwendet.

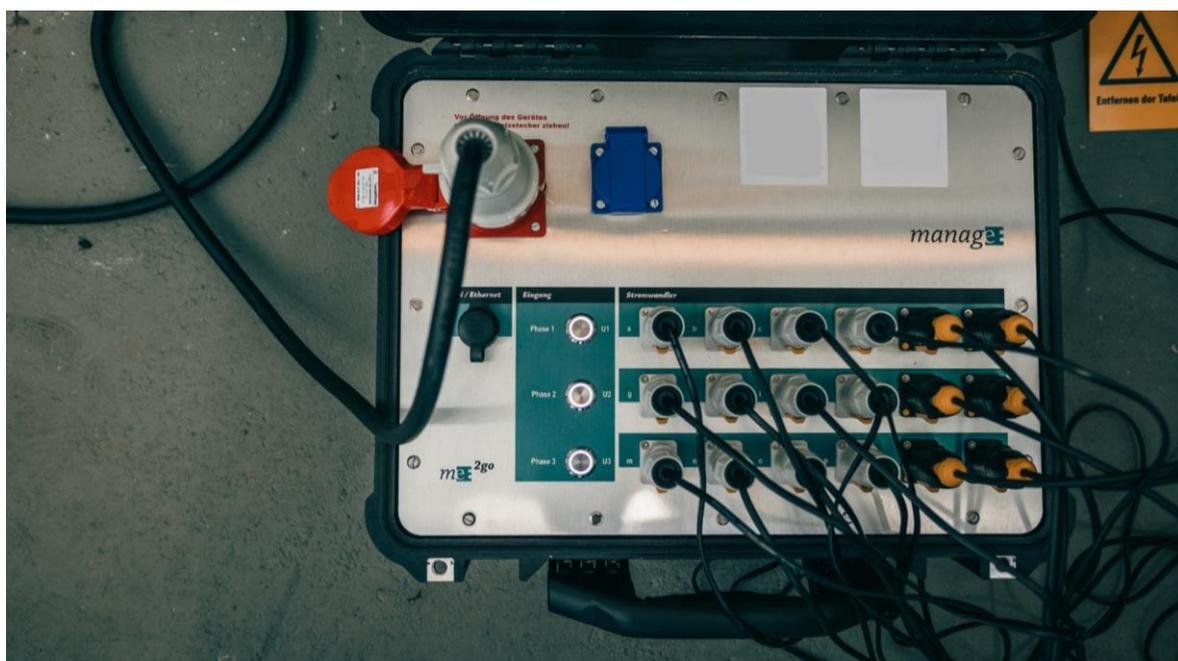


Abbildung 1: Mobiles Messsystem me2go von manageE in einer laufenden Messung

## 2 Methodik

Im Rahmen des Anwendungstests werden ausgewählte KMU-Betriebe (u.a. Museumsbetriebe, Freizeit- und Unterhaltungsbranche, Lebensmittel-Einzelhandel) energetisch untersucht. Dabei soll der Einsatz des mobilen Messsystems von der anfänglichen Messvorbereitung bis hin zur Messdaten-Auswertung systematisch strukturiert und vereinfacht werden. Im Zuge von bereits durchgeführten Messkampagnen wurde eine Vorgehensweise zur Energiedatenerfassung mit der mobilen Messtechnik entwickelt, die nachfolgend als Ablaufschema dargestellt ist (s. Abbildung 2). Diese Vorgehensweise wird als Baustein der energetischen Analyse der KMU-Betriebe angewandt und in den nachfolgenden Kapiteln methodisch beschrieben.

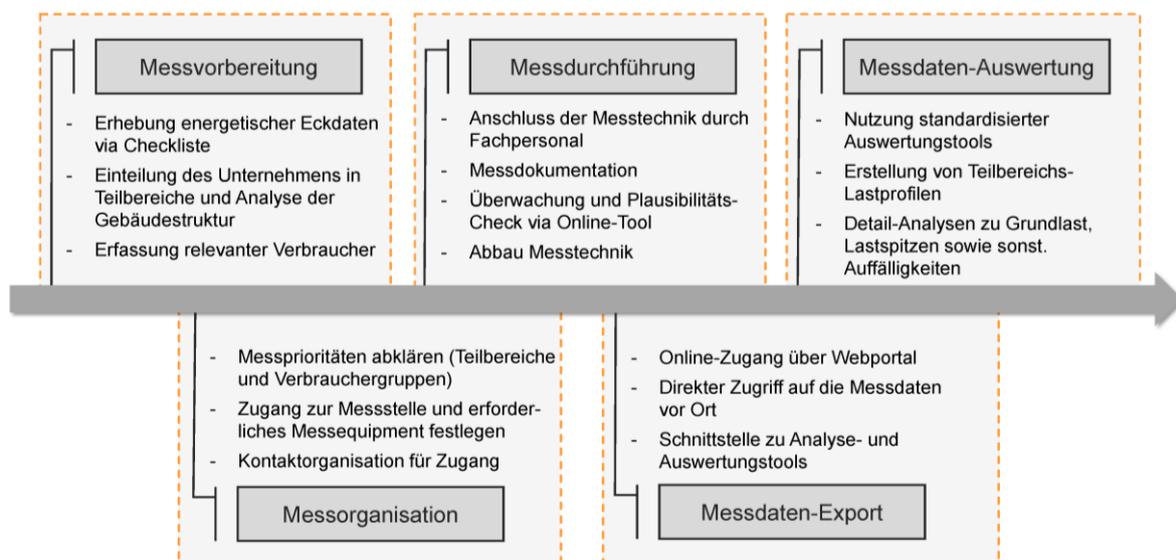


Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Energiedatenerfassung und -auswertung mittels mobiler Messtechnik zur elektrischen Leistungsmessung

Beginnend mit der *Messvorbereitung* und *Messorganisation* werden zunächst für die Messung wesentliche Informationen aus dem Unternehmen zusammengetragen. In der darauffolgenden *Messdurchführung* erfolgt der Einsatz der Messtechnik von der Installation bis zum Abbau des Systems. Nach erfolgreichem *Export der Messdaten* besteht der letzte Schritt in der *Messdaten-Auswertung*. Der Fokus bei der Beschreibung der nachfolgenden Schritte liegt auf Erfahrungswerten aus der Praxis des Anwendungstests, die zur Vereinfachung und Systematisierung der Vorgehensweise geführt haben.

### 2.1 Messvorbereitung und Messorganisation

Zu Beginn der energetischen Analyse hat sich die Erhebung relevanter Eckdaten des zu untersuchenden Unternehmens mittels eines Datenaufnahmebogens bewährt. Dabei sollte ein Überblick über die Gebäudestruktur samt der Einteilung in Teilbereiche als auch die Erfassung wesentlicher Energieträger sowie energetischer Verbraucher geschaffen werden. Mit der Einteilung des Unternehmens in Teilbereiche sowie der Identifikation von Verbraucherguppen ergeben sich bereits erste Informationen zu den Messprioritäten bei den späteren Teilbereichsmessungen.

Mit der ersten Begehung des Unternehmens sollten auch die technischen Rahmenbedingungen aufgenommen werden, die für eine spätere Messdurchführung entscheidend sind. Dazu zählt vor allem die Begehung der Niederspannungshauptverteilung (NSHV) des zu analysierenden Unternehmens. Die folgenden Punkte sollten dazu geprüft und dokumentiert werden:

- Zugang und Aufbau des Schaltschranks; ggf. sind Schaltpläne zu fotografieren
- Anzahl Unterverteilungen bzw. Teilbereiche und deren Beschriftung
- Erreichbarkeit der Stromkabel
- Verfügbarkeit eines 400V (16A) CEE-Steckers (spezifisch für verw. Messtechnik)
- Signalempfang Mobilfunknetz (zur Fernübertragung der Messdaten)

Anhand der aufgenommenen Daten kann anschließend eine Strategie für die zeitliche Messvereinbarung entwickelt werden. Da das mobile Messsystem auf die parallele Messung von sechs Teilbereichen beschränkt ist, diverse Schaltschränke aber über mehr als sechs Unterverteilungen verfügen, kann es zu mehreren nacheinander folgenden Messungen kommen. Aufgrund der Auswertungsmethodik (s. Kapitel 2.4) beträgt die Mindestlaufzeit für eine Messung sieben volle Tage. Bei zeitlichen Einschränkungen sind gegebenenfalls nicht alle Unterverteilungen messtechnisch erfassbar. Dann sollte die Priorität auf der Messung der Unterverteilungen mit dem höchsten Verbrauch liegen (s. Kapitel 2.2).

Vor der Installation des mobilen Messsystems sollte das für die Messung notwendige Equipment festgelegt werden. In der Regel besteht dieses neben dem Messkoffer aus Anschlusskabeln zur Spannungsversorgung, Messwandlern (Klappstromwandler und Rogowski-Spulen), Strom-Messzange (Multimeter), mobilen WLAN-Router zur Übertragung der Messdaten, Laptop/Tablet sowie Sicherheitsequipment für die Installation.

Eine frühzeitige Analyse der Jahres-Lastgangdaten des Energieversorgers in Bezug auf die im Unternehmen anliegende Grundlast, Lastspitzen, saisonale Einflüsse sowie Tages-, Wochen- und Monatsverbräuche liefert erste Hinweise zum „Energieverbrauchsprofil-Strom“. Darüber hinaus können auf Basis dieser Analyse Prioritäten für die folgende Messdurchführung entwickelt werden.

## 2.2 Messdurchführung

Bedingt durch die erforderlichen Arbeiten an unter Spannung stehenden elektrischen Verteilungen sind bei allen Anwendungen des mobilen Messsystems zunächst sicherheitsrelevante Aspekte zu berücksichtigen. Die Installation sowie der Abbau der Messtechnik darf ausschließlich durch geschultes Fachpersonal (Fachelektriker) erfolgen. Anforderungen für das sichere Bedienen von und Arbeiten an elektrischen Anlagen sind u.a. in der *DIN VDE 0105-100* (2015) [13] aufgeführt.

Vor der Installation der Messtechnik sind zunächst die für den Verbrauch wesentlichen Teilbereiche zu identifizieren. Dabei hat sich der Einsatz einer Strom-Messzange (Multimeter) als hilfreich und effizient erwiesen. Durch Messung der Momentan-Stromwerte einzelner Phasen können, entsprechend dem *Pareto-Prinzip* („80/20-Regel“) [14], Teilbereiche mit hohem Verbrauch und entsprechend hoher Priorität in der ersten Messung angeschlossen werden. Der Einsatz der Messtechnik in der Praxis hat gezeigt, dass in kleineren Betrieben wie dem Lebensmitteleinzelhandel mit einer Messung bis zu 90% des Gesamtstromverbrauchs lokalisiert werden konnte.

Um das Verhältnis der Teilbereiche zum Gesamtstromverbrauch zu bilden, sollte die Belegung der Messabgänge am Koffer nach Möglichkeit nach der folgenden Methodik erfolgen:

- Der Gesamtstromverbrauch ist nach Möglichkeit parallel mit bis zu fünf Teilbereichen messtechnisch zu erfassen (1. Messung).
- Im Anschluss sind (bei Bedarf) weitere Messungen einzuplanen
  - o a) falls noch nicht alle relevanten Teilbereiche messtechnisch erfasst werden konnten;
  - o b) falls in der ersten Messung Auffälligkeiten in den Teilbereichs-Lastprofilen (bspw. in Grund- und Spitzenlast) identifiziert worden sind.

Bei der Installation der Messtechnik sind eine eindeutige Benennung der Teilbereiche sowie die Zuordnung von Verbrauchern oder Verbrauchergruppen zum jeweiligen Teilbereich relevant. Der nachfolgende Export als auch die Auswertung der Messdaten erfordert eine sorgfältige Messdokumentation. In der Praxis liegt nicht immer eine vollständige Dokumentation der Unterverteilung samt Teilbereichsbenennung vor. In solchen Fällen sollte mit der Kontaktperson vor Ort Rücksprache gehalten werden.

Nach erfolgreicher Installation der Messtechnik erfolgt unmittelbar und 12-24h später ein Plausibilitätscheck der Messdaten. Dies ist durch den Einsatz des mobilen WLAN-Routers per Fernauslesung möglich. Es bestehen unterschiedliche Zugriffsarten auf die Messdaten, auf die im nachfolgenden Kapitel eingegangen wird.

## 2.3 Messdatenexport

Grundsätzlich stehen verschiedene Möglichkeiten für den Zugriff und Export der Messdaten zur Verfügung. Auf der einen Seite werden die Messdaten intern im Koffer auf einer SD-Karte abgespeichert. Auf diese Daten kann über die IP-Adresse des Messkoffers zugegriffen werden. Darüber hinaus werden die Daten auch Online in einer Cloud gespeichert, auf die über einen SQL-Server zugegriffen werden kann. Einen Überblick über die Zugriffs- und Exportmöglichkeiten liefert die folgende Grafik (s. Abbildung 3).

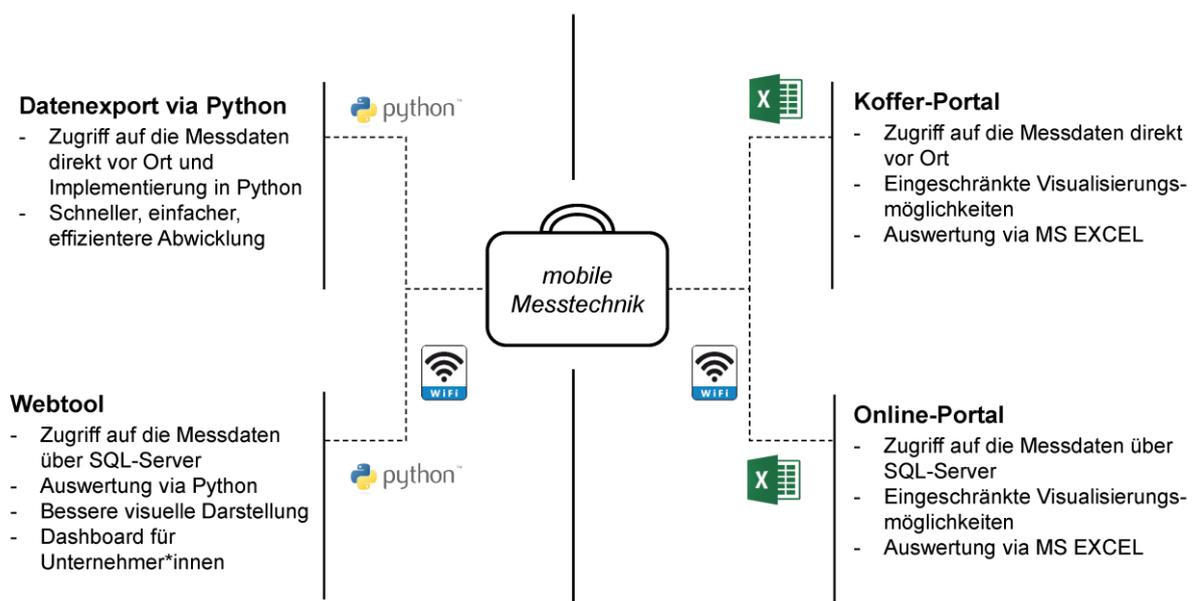


Abbildung 3: Möglichkeiten zum Messdatenexport und -zugriff des eingesetzten mobilen Messsystems

Die in Abbildung 3 rechts dargestellten Zugriffsmöglichkeiten werden von der Firma *manageE GmbH* bereitgestellt. Hierbei stehen sowohl ein Export-Funktionen für die Messdaten sowie die einfache Visualisierungsmöglichkeiten (z.B. Lastgänge) zur Verfügung. Die Visualisierungsmöglichkeiten eignen sich gut für den Plausibilitätscheck während der Messung, sind jedoch für detaillierte Auswertungen und Analysen der Daten weniger geeignet. Stattdessen werden diese Analysen in einem vorgefertigten MS *EXCEL*-basierten Auswertungstool durchgeführt.

Der Prozess des Exports sowie der Auswertung von Messdaten lässt sich in hohem Maße automatisieren. Dies ist beispielsweise über open-source Programmierung in *Python™* möglich und wird zurzeit als Alternative für den bestehenden Messdatenexport erarbeitet. Dazu sind zum einen der direkte Export von Messdaten via *Python™* als auch die automatisierte Auswertung und Visualisierung in einem webbasierten Tool denkbar (s. Abbildung 3, links). Letzteres könnte auch für Unternehmer\*innen einen Mehrwert bieten, bspw. indem Daten aus der mobilen Messung sowie Jahres-Lastgangdaten des Energieversorgers zentral in einem Tool aufbereitet werden. Die Auswertung in *Python™* hat zudem den Vorteil, eine größere Datenmenge einfacher zu verwalten. So können hochaufgelöste Daten (sekündliche Auflösung) wesentlich schneller in *Python™* aufbereitet und analysiert werden.

## 2.4 Messdatenauswertung

Die Verwendung von Messdaten-Auswertungstools (MS *EXCEL*, *Python™*) ermöglicht eine schnelle, systematisierte Identifikation von Einsparpotentialen. Darüber hinaus haben die Eigenschaften des zu analysierenden Unternehmens (z.B. Branchenzugehörigkeit) keinen Einfluss auf die Auswertungsmethodik, wodurch auch eine unternehmensübergreifende Übertragbarkeit sichergestellt ist.

Die Messdaten aus einer Messung von bis zu sechs Teilbereichen werden in ein Auswertungstool importiert und anschließend visuell aufbereitet. Dazu werden neben dem Lastgang der Teilbereiche auch aggregierte Daten wie der prozentuale Anteil der gemessenen Teilbereiche am Gesamtverbrauch oder Streugrafiken zur Analyse von Grund- und Spitzenlast erstellt (s. Abbildung 4).

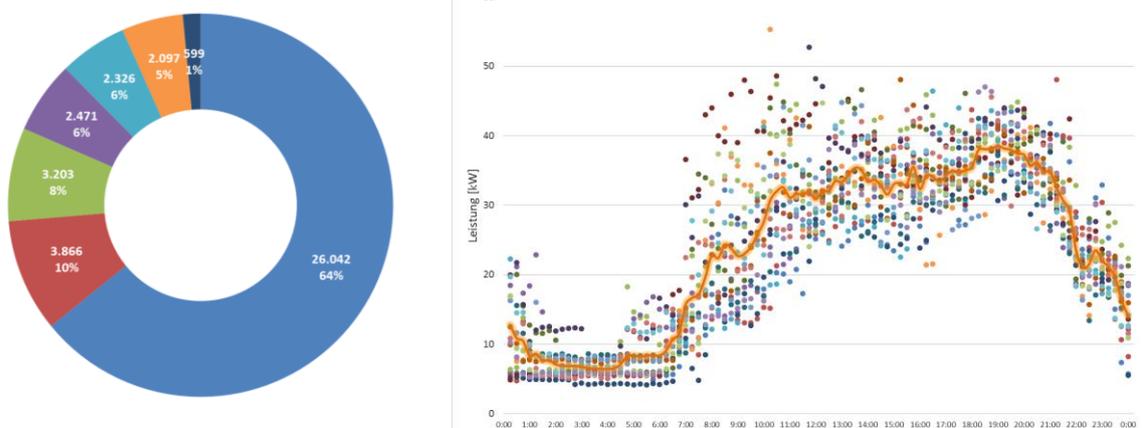


Abbildung 4: Visuelle Auswertung der Messdaten – Darstellung der Teilbereichs-Anteile am Gesamtwochenverbrauch (links) und Streugrafik eines gemessenen Teilbereichs (rechts)

Die Streugrafik stellt die Daten aller Messtage von 0-24h für einen Teilbereich dar und liefert somit die Basis für eine detaillierte Analyse von Lastspitzen und Grundlast. Gegenüber der Betrachtung des Gesamtverbrauchs kann die Ursache und das Auftreten von Lastspitzen somit deutlich umfangreicher analysiert werden. Ebenso kann die durchschnittliche Grundlast für den Teilbereich abgelesen werden. Die Darstellung der Anteile einzelner Teilbereiche am Gesamtverbrauch (s. Abbildung 4, links) wird durch die Bildung einer Referenzwoche von Montag bis Sonntag ermöglicht. Der Gesamtverbrauch der Referenzwoche gibt somit die Summe an, aus der sich die Teilbereichs-Anteile ermitteln.

Wenn der Gesamtverbrauch sowie die Teilbereiche parallel gemessen werden, kann die Zusammensetzung des Gesamtlastprofils nach Teilbereichen aufgeschlüsselt werden (s. Abbildung 5). Durch die grafische Datenanalyse wird schnell ersichtlich, welche Teilbereiche außerhalb der Betriebszeiten hohe Verbräuche aufweisen.

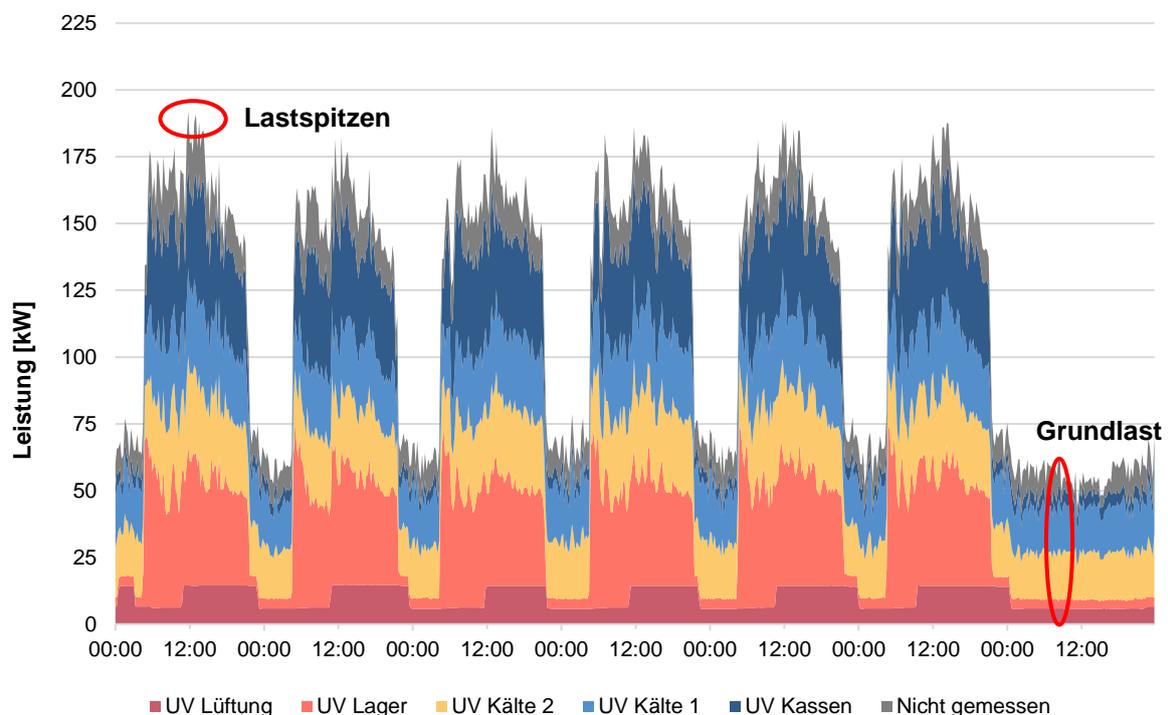


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung einer Referenzwoche aus einer mobilen Messung im Lebensmitteleinzelhandel

Werden den gemessenen Teilbereichen die jeweiligen Verbraucher zugeordnet, wird der Grundlastverbrauch aufgeschlüsselt und die Ursache der Entstehung von Lastspitzen nachvollziehbar. Die Identifikation von Grund- oder Spitzenlast verursachenden Verbrauchern erfordert jedoch gegebenenfalls weitere Messungen in der Unterverteilung. So hat sich bei der Identifikation ungewöhnlich hoher Grundlastverbräuche eines Teilbereichs in einem Betrieb erst durch eine weitere Messung von Unterverteilungen innerhalb des Teilbereichs gezeigt, welche Verbraucher für die Grundlast verantwortlich sind.

### 3 Ergebnisse

Die Entwicklung des Lösungsansatzes zur Schaffung von Transparenz über die Energie- und Lastflüsse konnte durch den Einsatz des mobilen Messsystems der Firma *manageE GmbH* realisiert werden. Kurzzeitmessungen ermöglichen dabei Analysen zu Grund- und Spitzenlast bis hin zum Einzelverbraucher, die im Rahmen einer Energieberatung ohne den Einsatz von Messtechnik nicht möglich wären. Das primäre Ziel der Schaffung von Energietransparenz kann durch den Einsatz des mobilen Messsystems erreicht werden.

#### 3.1 Systematisierung und Vereinfachung des Gesamtprozesses

Trotz der heterogenen Branchen und der oft individuellen Gegebenheiten in den untersuchten KMU-Betrieben ist der Einsatz des mobilen Messsystems übertragbar und daher branchenübergreifend anwendbar. Dies setzt jedoch eine von Beginn an strukturierte Analyse des Betriebes und die systematische Bildung von Teilbereichen (z.B. Verwaltung, Lager, Produktionshalle) bzw. Verbrauchergruppen (z.B. Lüftungsanlage, Beleuchtung, sonstige Querschnittstechnologien) voraus. Die Lastprofile der gemessenen Teilbereiche in den analysierten KMU-Betrieben lassen sich wiederum vergleichen, was unter anderem an den durch die Verbraucher charakterisierten Lastprofilen deutlich wird. Daher ergeben sich in der Datenauswertung Ansätze zur Systematisierung, beispielsweise durch eine Mustererkennung in Teilbereichs-Lastprofilen von Lüftungsanlagen in unterschiedlichen Betrieben. Durch den automatisierten Messdatenexport (bspw. über open-source Programmiersoftware) kann der Gesamtprozess in Zukunft weiter systematisiert werden. Hinzu kommt, dass die Analyse einer Vielzahl an hochauflösenden Messdaten über Programmiersoftware deutlich einfacher umsetzbar ist als bspw. über *MS EXCEL*.

Die beschriebene Methodik stellt bereits ein wesentliches Ergebnis der bisher durchgeführten Anwendungstests in KMU-Betrieben dar. So konnte der Gesamtprozess der Effizienzanalyse durch systematische Vor-Ort-Begehungen mit vorgefertigten Checklisten, die Beschränkung der Kurzzeitmessungen auf 1-2 Wochen sowie die strukturierte Datenauswertung mittels vorgefertigter Tools vereinfacht und zeitlich gekürzt werden. Dabei ermöglicht insbesondere die parallele Erfassung von Teilbereichen eine effiziente Vorgehensweise zur Schaffung von Transparenz über die Energieströme im Unternehmen. Durch den Einsatz von Klappstromwandlern und Rogowski-Spulen kann das Messsystem unterbrechungsfrei an der Haupt- bzw. Unterverteilung angeschlossen werden, was gerade bei der Installation sowie beim Abbau des Systems zu Zeitersparnissen führt. Der bisherige Einsatz des Messsystems in der Praxis hat gezeigt, dass der Zeitaufwand für die Installation durchschnittlich 2-3 Stunden in Anspruch nimmt.

#### 3.2 Mehrwert durch den Einsatz mobiler Messtechnik

Im Zuge der beschriebenen energetischen Analysen in KMU-Betrieben wurde auch der Mehrwert des Einsatzes mobiler Messtechnik aus Sicht von Unternehmer\*innen betrachtet. Interviews mit Unternehmer\*innen haben u.a. gezeigt, dass identifizierte Energieeffizienzmaßnahmen, die mit vor Ort erhobenen Messdaten belegt sind, eine deutlich fundiertere Entscheidungsgrundlage für die tatsächliche Umsetzung einer Maßnahme darstellen. Insbesondere wurde in Bezug auf den Einsatz der Messtechnik deutlich, dass vor allem ein Mehrwert darin

gesehen wird, Auffälligkeiten wie bspw. eine hohe Grundlast konkreten Verbrauchern bzw. Verbrauchergruppen zuordnen zu können.

In der folgenden Tabelle sind die Vorteile der Effizienzanalyse mit Einsatz eines mobilen Messsystems sowie damit verbundene Auswirkungen auf Entscheidungen von Unternehmer\*innen dargestellt (s. Tabelle 2).

*Tabelle 2: Vorteile des Messkoffer-Einsatzes und damit verbundene Auswirkungen auf die Entscheidungen von Unternehmer\*innen*

Vorteile des Messkoffer-Einsatzes	Auswirkung auf Entscheidungen von Unternehmer*innen
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnelle, unterbrechungsfreie Installation der Messtechnik (i.d.R. 2-3 Stunden Aufwand)</li> <li>- Hochaufgelöste Daten von Teilbereichen und Verbrauchergruppen stehen zur Verfügung und ermöglichen eine Detailanalyse zu Grundlast und Lastspitzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Überzeugt Unternehmer*innen, Messungen überhaupt im Rahmen der energetischen Analyse durchführen zu lassen</li> <li>→ Die Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen wird verbessert, da vor Ort erhobene Daten analysiert worden sind</li> </ul>

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die energetische Analyse von KMU-Betrieben mit Einsatz mobiler Messtechnik wurde als Lösungsansatz identifiziert und konnte im Rahmen eines Anwendungstests in der Praxis methodisch entwickelt werden. Der Einsatz des mobilen Messsystems *me2go* der Firma *manageE GmbH* macht die messtechnische Erfassung bis hin zum Einzelverbraucher möglich. Somit können in der energetischen Analyse identifizierte Auffälligkeiten erfasst und im Detail analysiert werden. Gegenüber Hochrechnungsverfahren und auf Annahmen basierenden Methoden liefern Messdaten eine fundierte Grundlage zur Aufschlüsselung der Verbrauchsstruktur sowie der Erhebung von Einsparpotentialen in KMU-Betrieben.

Die Kurzzeitmessungen liefern keine Erkenntnisse zu langfristigen Zusammenhängen und Abhängigkeiten im Energieverbrauch. Es wird lediglich für den gewählten Messzeitraum Transparenz über die Energie- und Lastflüsse geschaffen und damit der energetische Ist-Zustand des Unternehmens dargelegt. Langfristige Veränderungen im Energieverbrauch können bspw. durch die bereits in *Hein et al. (2018) [11]* skizzierte Methodik aufgezeigt werden, indem Messtechnik vor und nach der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen eingesetzt wird. Ein stationärer Einsatz von Messsystemen (Submetering) ist vor allem aus technischer Sicht vorteilhaft, kann aber in nicht-energieintensiven KMU-Unternehmen ein zu hohes Investitionsvolumen darstellen.

Der vorgestellte Lösungsansatz ermöglicht es, den durch vielfältige Branchen charakterisierten KMU-Bereich in einer branchenunabhängigen Systematik energetisch zu analysieren. Durch die Bildung von Teilbereichen und der messtechnischen Erfassung dieser wird die Verbrauchsstruktur von KMU-Betrieben transparent und vergleichbar. Darüber hinaus haben die Anwendungstests gezeigt, dass sich der Aufwand für den Einsatz von mobiler Messtechnik durch die Auswahl eines geeigneten Messsystems (parallele Teilbereichsmessung) sowie die Ausarbeitung einer systematischen Vorgehensweise bzw. Methodik deutlich reduzieren lässt. Dies betrifft vor allem die Schritte *Messdatenexport* und *Messdatenauswertung*.

Wir bedanken uns beim Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie (MWIDE) des Landes Nordrhein-Westfalen sowie bei der EU (EFRE-Mittel) für die Förderung dieses Projektes. Wir hoffen, dass dieses Projekt einen Beitrag zur Erschließung von Effizienzpotentialen in kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs) leisten wird.

## Literaturverzeichnis

- [1] Carlos Perez-Linkenheil, *EU Energy Outlook 2050 - Wie entwickelt sich Europa in den nächsten 30 Jahren?* [Online] Available: <https://blog.energybrainpool.com/eu-energy-outlook-2050-wie-entwickelt-sich-europa-in-den-naechsten-30-jahren-2/>.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Ed., "Energieeffizienzstrategie 2050," Dec. 2019.
- [3] Umweltbundesamt, *Indikator: Energieverbrauch der Industrie*. [Online] Available: <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-energieverbrauch-der-industrie#textpart-1>.
- [4] Katharina Mattes, Angela Jäger, Anton Kelnhofer, Matthias Gotsch, Fraunhofer ISI, "Energieeffizienz im Betriebsalltag: Chancen durch Energiemanagement und Qualifikation," 2017.
- [5] IREES - Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, "Energiebedarf und wirtschaftliche Energieeffizienz-Potentiale in der mittelständischen Wirtschaft Deutschlands bis 2020 sowie ihre gesamtwirtschaftlichen Wirkungen," Karlsruhe, Berlin, 2013.
- [6] PwC, "Energiewende im Mittelstand," 2015. [Online] Available: <https://www.pwc.de/de/mittelstand/assets/befragung-energiewende-im-mittelstand.pdf>.
- [7] Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM), *Unternehmensbestand*. [Online] Available: <https://www.ifm-bonn.org/statistiken/unternehmensbestand/#accordion=0&tab=0>.
- [8] Christian Schipplick, "Einbeziehung lokaler Unternehmen in die Umsetzung energie- und klimapolitischer Ziele," Master Thesis, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energy gGmbH, 2017.
- [9] IfM Bonn - Institut für Mittelstandsforschung, "Digitalisierungsprozesse von KMU im Verarbeitenden Gewerbe," 2017.
- [10] Lukas Hilger, Thorsten Schneiders, Frederic Pascal Meyer, and Jean-Pierre Kroll, "Use of smart technologies for energy efficiency, energy- and load management in small and medium sized enterprises (SMEs)," Technische Hochschule Köln, 2018.
- [11] Martin Hein, Verena Mischo, and Prof. Dr.-Ing. Martina Hofmann, "Die Kompetenzstelle Energieeffizienz Ostwürttemberg - Ein Beitrag zur Energiewende," Hochschule Aalen - Technik und Wirtschaft, Feb. 2018.
- [12] Bundesrepublik Deutschland, Ed., "Entwurf - Energieeffizienzstrategie 2050 der Bundesregierung (EffSTRA)," Nov. 2019.
- [13] *DIN VDE 0105-100 VDE 0105-100:2015-10 - Betrieb von elektrischen Anlagen*.
- [14] A. K. Markus Blesl, *Energieeffizienz in der Industrie*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.