



# VISE

Virtuelles Institut Smart Energy

Interdisziplinäre Forschung für die Digitalisierung  
der Energiewirtschaft

# Smart Energy für kleine und mittlere Unternehmen

-

# Technologien, Nutzeranalysen und Lösungsansätze für mehr Energieeffizienz

## VISE-Teilprojekt

„Smarte Technologien für Unternehmen“

Abschlussbericht

2022

TH Köln – paluno (Uni Duisburg-Essen) – Wuppertal Institut – WWU Münster

[www.smart-energy.nrw](http://www.smart-energy.nrw) | [info@smart-energy.nrw](mailto:info@smart-energy.nrw)

VISE  
Unternehmen



**2014** EFRE.NRW  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

## Autoren\*innen

---

**Technology  
Arts Sciences  
TH Köln**



Lukas Hilger, Prof. Dr.-Ing. Thorsten Schneiders  
Orlando Nguyen, Dr. Marc Hesenius  
Felix Große-Kreul, Aileen Reichmann, Katja Witte  
Dr. Christoph Feldhaus, Prof. Dr. Andreas Löschel

TH Köln  
paluno (Uni Duisburg-Essen)  
Wuppertal Institut  
WWU Münster

## Kontakt

---



# VISE

Virtuelles Institut Smart Energy

E-Mail: [info@smart-energy.nrw](mailto:info@smart-energy.nrw)

Website: [www.smart-energy.nrw](http://www.smart-energy.nrw)

## Gefördert durch

---



**EFRE.NRW**  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

EFRE-0600038

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1	Thematischer Hintergrund	5
1.2	Definitionen und Begrifflichkeiten	5
1.2.1	Smarte Technologien	6
1.2.2	Energieeffizienz und Energieeffizienzmaßnahmen	6
1.2.3	Energiemanagement und Energiemanagementsysteme	7
1.2.4	Lastmanagement	8
1.2.5	Living Lab	9
<b>2</b>	<b>Einsatz smarterer Technologien in Unternehmen</b>	<b>10</b>
2.1	Ergebnisse des Technologie-Screenings	10
2.1.1	Kategorisierung auf dem Markt erhältlicher Systeme	11
2.1.2	Bewertung und Vergleich smarterer Technologien	13
2.1.3	Übergreifende Erkenntnisse aus dem Screening	17
2.2	Engineering-Prozess für den Einsatz smarterer Technologien	18
2.2.1	Automatisierung durch Digitalisierung	18
2.2.2	Software-Engineering und smarte Technologien	19
2.3	Qualitative sozio-technische Nutzeranalyse	21
2.3.1	Technik-Workshops mit Unternehmen	21
2.3.2	Explorative Interviews: KMU und smarte Technologien	25
2.3.3	Vor-Ort-Begehungen in KMU	30
2.4	Quantitative sozio-ökonomische Nutzeranalyse	34
2.4.1	Experimentelle Variation der Argumente zur Nutzung eines Smart Meters	35
2.4.2	Repräsentative Befragung der Bevölkerung von NRW	38
2.4.3	Beobachtungsdaten auf der Makroebene und regionale Digitalisierung der KMU	43
<b>3</b>	<b>Interdisziplinärer Anwendungstest mit mobiler Messtechnik</b>	<b>45</b>
3.1	Methodik und Vorgehensweise	45
3.2	Vorstellung des mobilen Messsystems	46
3.3	Entwicklung eines universellen Messkonzepts	49

3.3.1	Messvorbereitung und Messorganisation.....	49
3.3.2	Messdurchführung.....	51
3.3.3	Messdatenexport.....	52
3.3.4	Messdatenauswertung .....	53
3.3.5	Mehrwert und Nutzen des universellen Messkonzepts .....	55
3.4	Entwicklung der Webanwendung VISEABLE.....	56
3.4.1	Schnittstelle zur mobilen Messtechnik .....	56
3.4.2	Möglicher Anwendungsfall .....	57
3.4.3	Erste Version von VISEABLE.....	58
3.4.4	Neukonzeption der Softwarearchitektur .....	59
3.4.5	Funktionen für VISEABLE .....	61
3.4.6	Perspektiven in der Weiterentwicklung .....	64
<b>4</b>	<b>Fallbeispiele: energetische Analyse im Anwendungskontext .....</b>	<b>65</b>
4.1	Fallbeispiel 1 – energetische Analyse eines Freizeitbetriebes mit mobiler Messtechnik.....	65
4.1.1	Ausgangslage: Betrieb & Einstellungen .....	65
4.1.2	Energetische Analyse.....	66
4.1.3	Einsatz mobiler Messtechnik.....	68
4.1.4	Energiedatenvisualisierung mit VISEABLE .....	72
4.1.5	Zwischenfazit: Effizienzpotenziale und Handlungsoptionen.....	73
4.2	Fallbeispiel 2 – energetischer Vergleich und Benchmarking im Lebensmitteleinzelhandel.....	75
4.2.1	Ausgangslage: Betrieb und Einstellungen.....	75
4.2.2	Energetischer Vergleich und Benchmarking mit mobiler Messtechnik.....	76
4.2.3	Energiedatenvisualisierung mit VISEABLE .....	80
4.2.4	Zwischenfazit: Effizienzpotenziale und Handlungsoptionen.....	81
<b>5</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Referenzen .....</b>	<b>85</b>

# 1 Einleitung

Kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) werden besonders hohe Effizienzpotenziale zugesprochen (vgl. (Herbst et al., 2013)), zumal diese etwa 99,5 % aller Unternehmen in Deutschland ausmachen (IfM Bonn - Institut für Mittelstandsforschung, 2017). Nach PwC (2015) könnte jedes dritte mittelständische Unternehmen seine Energiekosten durch Effizienzmaßnahmen um 20 % senken. Der Grund für die bisher nicht genutzten Effizienzpotenziale im KMU-Bereich liegt vor allem in der Tatsache, dass Unternehmer\*innen sich der Relevanz für das Thema nicht bewusst sind. Häufig wird ein Mangel an Zeit, Wissen und personellen Ressourcen genannt, die verhindern, sich detailliert mit dem Thema Energieeffizienz im Unternehmen auseinanderzusetzen (C. Schipplick, 2017). In der Literatur wird dies allgemein als Energy Efficiency Gap bezeichnet. Inwiefern Effizienzlösungen genutzt werden, ist neben der Betriebsgröße aber auch vom Energiebedarf abhängig, wie eine Analyse des Fraunhofer ISI zeigt. Demnach sind kostspielige und komplexere Effizienztechnologien und -strategien in deutlich größerem Umfang in Unternehmen mit hohem Energiebedarf im Einsatz, als in Betrieben mit niedrigem Energiebedarf (Mattes & Jäger, 2017).

Um diese Barrieren für Energieeffizienzmaßnahmen in KMU zu reduzieren, könnten smarte Technologien einen Lösungsansatz darstellen. Sie können für KMU als investive Energieeffizienzmaßnahmen definiert werden, die z. B. Energieverbräuche und Ineffizienzen transparent und nachvollziehbar machen, konkrete Effizienzpotenziale aufzeigen oder alltägliche Maßnahmen und Routinen übernehmen und optimieren. Aber welche Technologien sind am Markt erhältlich, die Verbrauchsreduktionen ermöglichen und die auch im KMU-Kontext praktikabel und ökonomisch realisierbar sind? Und wie können sie optimal eingesetzt werden, um KMU dabei zu unterstützen, die eigenen Verbräuche zu reduzieren?

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt "*Smarte Technologien für Unternehmen*" untersuchte im Zeitraum von Juli 2017 bis Dezember 2020 Anwendungs- und Akzeptanzprobleme zum Einsatz smarterer Technologien in KMU und entwickelte darauf aufbauend Lösungsansätze zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zum Energie- und Lastmanagement. Dazu wurden smarte Technologien zunächst im Zuge eines Screenings identifiziert, kategorisiert und bewertet. In den qualitativen und quantitativen Nutzeranalysen wurden Unternehmer\*innen in den Fokus der Analyse gestellt, um den Wissensstand sowie Chancen und Barrieren zum Einsatz smarterer Technologien in KMU darzulegen. Mit der Durchführung transdisziplinärer Anwendungstests wurde ein zentraler Lösungsansatz entwickelt: Die Effizienzanalyse von KMU mittels mobiler Messtechnik und Visualisierungstools als potenzielle Strategie zur Reduktion von Energieverbräuchen. Hierfür analysierte das Forschungsprojekt:

- a) technische Aspekte (u. a. Entwicklung eines universellen Messkonzepts zum Einsatz mobiler Messtechnik);
- b) softwarespezifische Aspekte (u. a. Entwicklung eines webbasierten Tools zur Visualisierung von Energieverbrauchsdaten);
- c) sozio-technische Aspekte (u. a. Erhebung Mehrwert und Nutzen zum Einsatz mobiler Messtechnik sowie Visualisierungstools).

Die Ergebnisse dieses anwendungsorientierten Forschungsprojektes zeigen die Anwendungs- und Akzeptanzprobleme zum Einsatz smarter Technologien in KMU auf und geben Handlungsoptionen zur Steigerung der Energieeffizienz mit Hilfe ausgewählter smarter Produkte und Tools.

In Kapitel 2 werden zunächst die technischen Charakteristika von am Markt erhältlichen smarten Technologien im Rahmen eines Technologie-Screenings aufgezeigt und für den KMU-Kontext bewertet und verglichen. Darüber hinaus wird auch der Nutzen smarter Technologien durch die Einbettung in Software-Systeme dargelegt. In den sozio-technischen und sozio-ökonomischen Analysen wird das Nutzerverhalten der Unternehmer\*innen in den Mittelpunkt der Untersuchungen gestellt. In Kapitel 3 wird der im Rahmen des Projektes entwickelte interdisziplinäre Anwendungstest methodisch und inhaltlich vorgestellt. In diesem Kontext werden unter anderem das verwendete mobile Messsystem samt Messkonzept sowie die entwickelte Webanwendung VISEABLE beschrieben. In Kapitel 4 werden die Fallbeispiele "Freizeitbetrieb" und "Lebensmitteleinzelhandel" ausführlich vorgestellt, um einen Einblick in die transdisziplinäre Forschung in und mit kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zu geben. Der Fokus liegt dabei auf der Darstellung zentraler Ergebnisse, Nutzen und Mehrwerte der eingesetzten mobilen Messtechnik sowie der neu entwickelten Webanwendung VISEABLE. Qualitative Interviews mit Unternehmer\*innen beleuchten dabei auch die Nutzerperspektive. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse in einem abschließenden Fazit zusammengefasst.

## **1.1 Thematischer Hintergrund**

Neben dem Einfluss der Digitalisierung auf die Energiewelt stellen der Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie die Energieeffizienzsteigerung weitere wichtige Herausforderungen zur Umsetzung der Energiewende dar. Um den EU-Vorgaben (siehe EU-Energieeffizienz-Richtlinie (2012/27/EU)) auf nationaler Ebene nachzukommen, hat die Bundesregierung im Dezember 2019 die Effizienzstrategie (EffSTRA) 2050 veröffentlicht. Demnach wird neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien (65 % bis 2030) eine deutliche Effizienzsteigerung notwendig sein, um die Klimaziele zu erreichen. In diesem Kontext wurde die Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 30 % bis 2030 (ggü. 2008) als nationales Effizienzziel festgelegt (BMW, 2019). Der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz 2.0 (NAPE 2.0) soll neben Einsparungen im Erzeugungssektor (~ 700 TWh) zusätzliche Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion beim Letztverbraucher in den Sektoren Haushalte, Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) schaffen (~ 500 TWh). Der Digitalisierung kommt in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle zu, wird diese nicht zuletzt als „Enabler“ für neue Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft gesehen (BMW, 2019). Zur Einhaltung der nationalen Effizienzziele bedarf es vor allem neuer, digitaler Produkte und Dienstleistungen für Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement, die Einsparpotenziale im Haushalts-, Industrie- und GHD-Sektor erschließen können.

## **1.2 Definitionen und Begrifflichkeiten**

Nachfolgend werden zunächst die für dieses Teilprojekt relevanten Definitionen und Begrifflichkeiten erläutert. Bei einigen grundlegenden Begriffen wird auf Definitionen aus der Fachliteratur zurückgegriffen. Begrifflichkeiten, die übergreifend in allen Teilprojekten Bedeutung und Anwendung finden, wurden im VISE einheitlich und grundsätzlich neu definiert (s. Definition „Smarte Technologien“, Kapitel 1.2.1).

## 1.2.1 Smarte Technologien

Der Einfluss der Digitalisierung auf die Energiewirtschaft spiegelt sich in neuen „smarten“ Technologien und Produkten wider. Im Kontext von Energiesystemen in Haushalten, Unternehmen und virtuellen Kraftwerken werden smarte Technologien im VISE wie folgt definiert:

*Smarte Technologien (bzw. smarte Energieprodukte) setzen sich aus der Verknüpfung von Hardware-Lösungen als Basis eines physikalischen Energieprodukts und IKT-Komponenten als Basis für die Konnektivität zusammen.*

In diesem Kontext stellen Hardware-Lösungen einzelne Komponenten eines Energiesystems, bspw. Erzeugungsanlagen (Photovoltaik-Anlage, Blockheizkraftwerk (BHKW), ...), Energiespeicher oder Verbraucher dar. Die Verknüpfung dieser Lösungen mit IKT-Komponenten wie Sensorik, Datenspeicherung und -auswertung sowie Steuerungs-Aktorik stellt die Basis eines Smart Energy-Produkts dar und ermöglicht die Interaktion mit vielen externen Services und Mehrwertdiensten. Das gesamte Zusammenspiel von physischen Energieprodukten mit zusätzlicher Konnektivität durch IKT-Komponenten ermöglicht den Aufbau eines Smarten Energie-Produkt-Service-Systems (s. Abbildung 1).

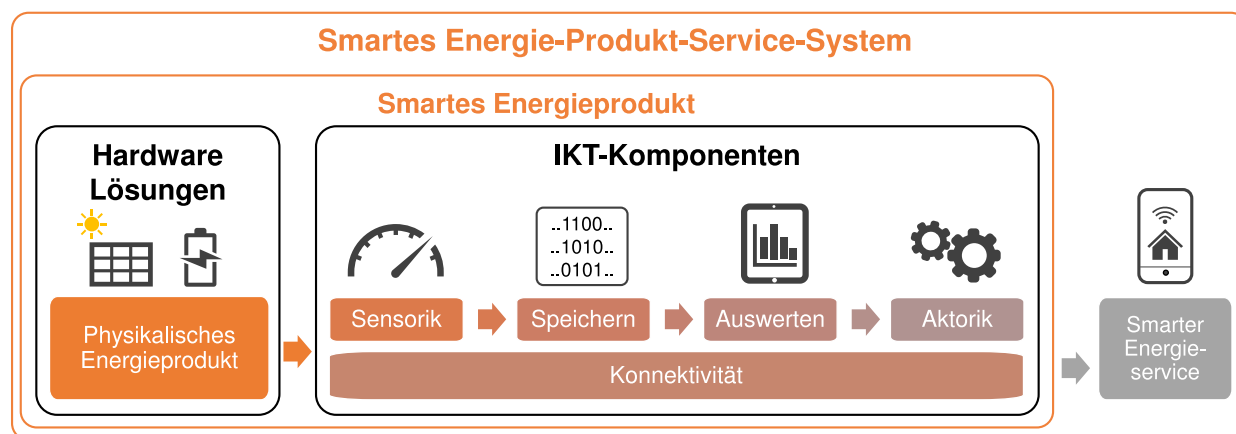


Abbildung 1: Schematische Darstellung Smartes Energie-Produkt-Service-System

## 1.2.2 Energieeffizienz und Energieeffizienzmaßnahmen

Der Begriff **Energieeffizienz** wird in der Praxis und in seiner Bedeutung unterschiedlich interpretiert und beschreibt Maßnahmen sowie Aktionsfelder aus verschiedenen Bereichen. Neben technisch-physikalischen Aspekten werden mit dem Begriff auch Verhaltensweisen und der allgemeine gesellschaftliche Umgang mit Energie adressiert (Martin Pehnt, 2010). Gemäß der EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) wird Energieeffizienz allgemein folgendermaßen definiert:

***Energieeffizienz** gilt als Maß für den optimalen Mitteleinsatz und beschreibt das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen und Waren oder Energie zum Energieeinsatz. (Richtlinie 2012/27/EU, 2012).*

Ein effizienter Einsatz von Energie bedeutet somit, den Energieeinsatz in einem System zur Erbringung einer gewissen Dienstleistung zu reduzieren. Bei dem System kann es sich um einen Energieumwandlungsprozess (z. B. in einem Auto), ein Gebäude oder ein Unternehmen handeln. Weiterhin wird in der Literatur zwischen den Begriffen „Energieeffizienz“ und „Energieein-

sparung(en)“ differenziert. Während Energieeffizienz lediglich die Reduktion des Energieeinsatzes bei gleichbleibender Outputgröße (z. B. Dienstleistung oder Energie) beschreibt, umfassen Energieeinsparungen darüber hinaus eine Reduktion der Outputgröße (z. B. Energiebedarf für ein Gebäude) (Martin Pehnt, 2010).

Im Falle der energetischen Betrachtung von Unternehmen kann die Steigerung der Energieeffizienz somit durch die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen erreicht werden.

**Energieeffizienzmaßnahmen** beschreiben technische, verhaltensbezogene oder wirtschaftliche Änderungen zur Steigerung der Energieeffizienz (Richtlinie 2012/27/EU, 2012).

Weiterhin können Energieeffizienzmaßnahmen basierend auf klassischen Technologien (z. B. der Umrüstung auf eine Standard-LED-Beleuchtung) oder aber auf digitalen, smarten Produkten wie bspw. der Installation eines intelligenten LED-Beleuchtungssystems umgesetzt werden (vgl. Definition 1.2.1). Neben den Einsparungen durch die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen profitieren Unternehmen auch in den Bereichen „nachhaltiges Produzieren“ sowie „Steuerentlastungen/ Förderung“ von Handlungen im Bereich Energieeffizienz, wie in der nachfolgenden Abbildung 2 deutlich wird.

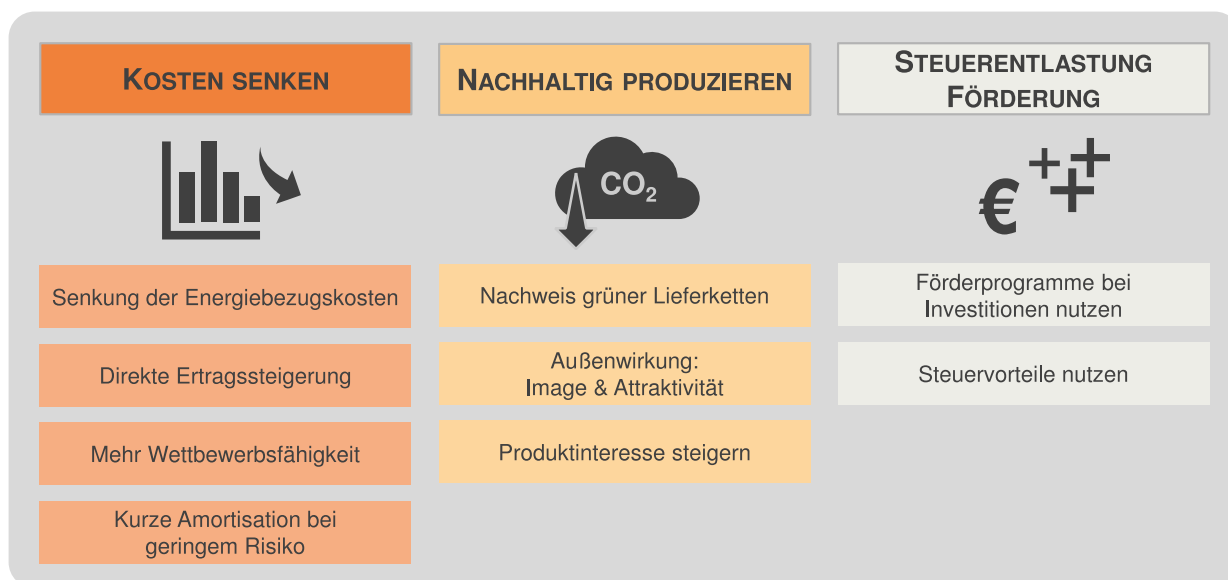


Abbildung 2: Mehrwert und Nutzen von Energieeffizienz für Unternehmen (eigene Darstellung basierend auf Gildemeister Energy Efficiency GmbH, 2018)

### 1.2.3 Energiemanagement und Energiemanagementsysteme

Das **Energiemanagement (EnM)** umfasst die Summe aller Maßnahmen, die in einem Unternehmen geplant und durchgeführt werden, um einen minimalen Energieeinsatz sicherzustellen. Dabei steht die vorausschauende, organisierte und systematische Koordination von Beschaffung, Wandlung, Speicherung, Verteilung und Anwendung von Energie zur Deckung der Nutzungsanforderungen im Fokus (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2012) und (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt [GEU], 2018)

Das Energiemanagement kann mit dem Hauptziel der Optimierung der Energieeffizienz weiterhin in drei wesentliche Bereiche eingeteilt werden (EnergieAgentur.NRW, 2018):

- 1) **Technisch-organisatorische** Aspekte regeln einen zuverlässigen und störungsfreien Betrieb (Ermittlung Rationalisierungspotenzial, Reduzierung Energieeinsatz, Flexibilität Energieversorgung).
- 2) **Ökonomisch-betriebswirtschaftliche** Aspekte stellen einen rationellen und kostengünstigen Betrieb sicher (Minimierung Energiekosten, Wirtschaftlichkeit Investitionen, verbesserte Kostenzuordnung).
- 3) **Ökologisch-volkswirtschaftliche** Aspekte sichern die mitarbeitergerechte Umsetzung und Weitervermittlung von Energieeffizienzmaßnahmen (Motivation Mitarbeiter, Vermittlung von Energiebewusstsein an Kunden / Zulieferer).

Weiterhin lässt sich das Energiemanagement mit der Investition in Humankapital (Planung, Koordination, Kontrolle) von der Energieeffizienzsteigerung als Investition in Kapital (Investition) unterscheiden (Martin Pehnt, 2010). Je nach Einsatzbereich (z. B. Industrieunternehmen) und Anwendungsfall (Höhe des Energieeinsatzes) ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen des Energiemanagements: betriebliches Energiemanagement, Energieerzeugungsmanagement, Energiespeichermanagement, Energiemanagement in der Energieanwendung) (GEU, 2018).

*Das **Energiemanagementsystem** (EnMS) ist ein Regelkreis, in dem anhand der Zielvorgaben die Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und zur Energieeinsparung überprüft und bewertet werden. Ein EnMS umfasst daher die zur Verwirklichung des Energiemanagements erforderlichen Organisations- und Informationsstrukturen einschließlich der hierzu benötigten technischen Hilfsmittel (GEU, 2018).*

Die technischen Hilfsmittel umfassen in diesem Zusammenhang unter anderem das erforderliche Energiedatenmanagement (auch Energiemonitoring-System, i. d. R. Hard- und Software des Messsystems). Dieses dient zur Erzeugung und Aufbereitung der erforderlichen Informationen zur Bewertung von Maßnahmen (GEU, 2018). Unternehmen können die Einführung eines Energiemanagements zertifizieren lassen (bspw. nach DIN EN ISO 50001). Das darin beschriebene Energiemanagement beschreibt jedoch nur die Anforderungen an das Energiemanagementsystem (EnergieAgentur.NRW, 2018).

#### **1.2.4 Lastmanagement**

***Lastmanagement** (engl. Demand-Side-Management) bezeichnet in seiner allgemeinen Form die Steuerung der zeitlichen Struktur des Stromverbrauchs im Hinblick auf energiewirtschaftliche Sachverhalte. Unter Last(en) werden hierbei ganz allgemein Einrichtungen verstanden, die Strom verbrauchen – also zum Beispiel Produktionsanlagen, Lüftungen, Kühlanlagen, Beleuchtungen oder Computer. (Wolfgang Schellong, 2016)*

In der Literatur liegen unterschiedliche Definitionen und Interpretationen des Begriffs Lastmanagement vor (u. a. „Demand Response“, „Lastverschiebung“). Nach der o. g. Definition kann

Lastmanagement jedoch als Oberbegriff definiert werden, während auf einer zweiten Ebene zwischen verschiedenen Art und Weisen der zeitlichen Veränderung des Lastprofils differenziert werden kann (siehe Abbildung 3).

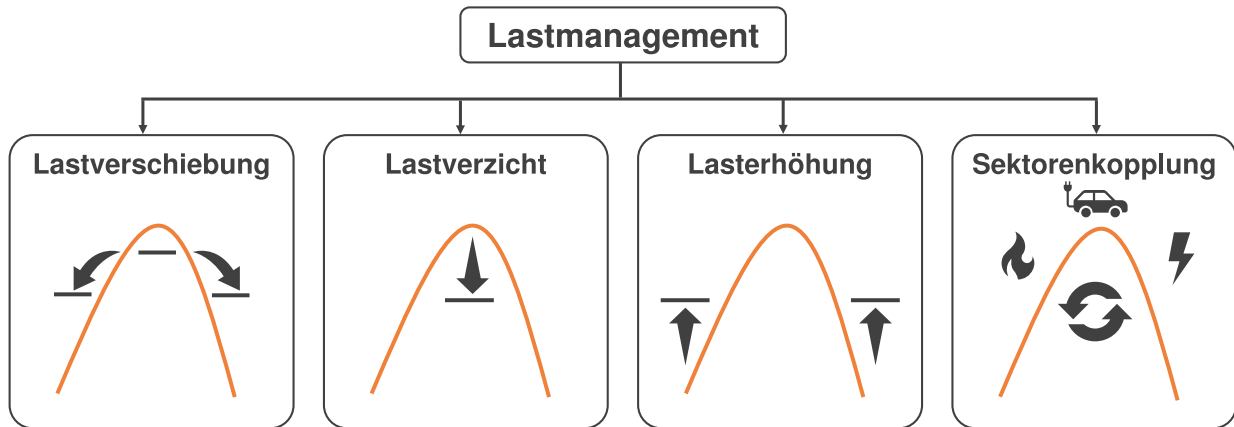


Abbildung 3: Unterscheidung verschiedener Arten zur Anwendung von Lastmanagement

### 1.2.5 Living Lab

*Ein **Living Lab** ist ein Modell für einen kombinierten technologie-sozioökonomischen Ansatz, um eine Interaktion zwischen Produktions- und Konsumnetzen zu entwickeln (C. Baedeker, C. Liedtke, M. J. Welfens, 2017).*

In einem Living Lab beteiligen sich die für einen Kontext notwendigen Akteure (Produktion, Konsum, Kommunen), um durch das Testen von Produktansätzen und Technologien in Live-Szenarien Akzeptanz zu schaffen und Deutungssysteme zu verändern (C. Baedeker, C. Liedtke, M. J. Welfens, 2017). Living Labs können allgemein hinsichtlich der Zeit, dem Raum und den involvierten Akteuren charakterisiert werden (vgl. Abbildung 4).

Typisierung Living Lab		
ZEIT	RAUM	AKTEURE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• projektbasiert z. B. gebunden an ein Forschungsprojekt</li> <li>• institutionalisiert z. B. gebunden an eigenständige Institution</li> </ul>	Realwelt-Repräsentation: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Simulation</i> (virtuell/physisch)</li> <li>• <i>Realwelt</i> (Experiment/Umsetzung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Privatwirtschaft</li> <li>• öffentliche Bildung und Forschung</li> </ul>

Abbildung 4: Typisierung von Living Labs nach den Kriterien Zeit, Raum und Akteuren (C. Baedeker, C. Liedtke, M. J. Welfens, 2017)

Bezogen auf das Forschungsprojekt VISE-U wird das Living Lab-Konzept sowohl als physische Simulation (z. B. Demonstrationswand Smart Office) sowie in Form von Tests in der Realwelt (Messkoffereinsatz) umgesetzt. Der im Forschungsprojekt durchgeführte Anwendungstest kann daher als Umsetzung des Living Labs nach unterschiedlichem Grad der Realweltrepräsentation verstanden werden.

## 2 Einsatz smarter Technologien in Unternehmen

In diesem Kapitel werden zunächst die technischen Charakteristika von am Markt erhältlichen smarten Technologien im Rahmen eines Technologie-Screenings aufgezeigt, bewertet und verglichen (s. Kapitel 2.1). Darüber hinaus wird auch der Nutzen smarter Technologien durch die Einbettung in Software-Systeme dargelegt (s. Kapitel 2.2). In den sozio-technischen und sozio-ökonomischen Analysen (Kapitel 2.3 sowie 2.4) wird das Nutzerverhalten der Unternehmer\*innen in den Mittelpunkt der Untersuchungen gestellt.

### 2.1 Ergebnisse des Technologie-Screenings

Zur Darstellung des Status-Quo von Energieeffizienz und dem Einsatz smarter Technologien in kleinen und mittleren Unternehmen wurde eine ausführliche Literaturrecherche zum Screening smarter Technologien durchgeführt. Mit dem Technologie-Screening wird ein Überblick über projektrelevante, digitale Technologien im Bereich Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement sichergestellt. Neben der Kategorisierung, der Bewertung und dem Vergleich der Technologien wurden durch das Screening auch Indikatoren für die Identifikation des Anwendungspotenzials smarter Technologien in den Anwendungstests entwickelt und damit eine Basis für die Durchführung von Analysen in KMU geschaffen. Im Folgenden werden dazu die Technologie-Kategorisierung (s. Kapitel 2.1.1) erläutert, die Bewertung anhand projektspezifischer KMU-Kriterien vorgestellt (s. Kapitel 2.1.2) sowie übergreifende Erkenntnisse aus dem Screening beschrieben (s. Kapitel 2.1.3).

Im Rahmen des Technologie-Screenings wurden smarte Technologien für den Einsatz in KMU im Zeitraum von 2017–2020 in einem kontinuierlichen Monitoringprozess betrachtet. Dadurch konnte mit dem Screening ein umfassender Überblick über die Angebotsseite und den Markt smarter Technologien geschaffen werden. Ebenso wurden potenzielle Technologien für den Einsatz im Anwendungstest des Forschungsprojekts VISE-U identifiziert. Insgesamt umfasst das Technologie-Screening **sechs spezifische Technologie-Kategorien**, denen wiederum einzelne Systeme auf Herstellerebene zugeordnet wurden. So konnten in Summe **20 Systeme unterschiedlicher Hersteller** hinsichtlich des Aufbaus sowie der Funktionsweise samt Technologie-Steckbrief beschrieben werden. Die Steckbriefe zeigen dazu die technische Beschreibung, Komponenten sowie Schnittstellen der Systeme auf und referenzieren auf weiterführende Informationen auf den Webseiten der Hersteller.

Die Systeme, die einer Technologie-Kategorie zugeordnet wurden, weisen i. d. R. einen nahezu gleichen Aufbau und gleiche Eigenschaften auf. Unterschiede bestehen jedoch bspw. im Funktionsumfang oder den Schnittstellen der Systeme. Das Screening wurde so aufgebaut, um mit den dargestellten Systemen einen Überblick über den Markt smarter Technologien zu erhalten. Daher erhebt dieses Technologie-Screening auch keinen Anspruch auf eine vollständige Abbildung aller am Markt erhältlichen Systeme.

Durch das Technologie-Screening wurden auch Schnittstellen zu anderen Teilprojekten im Virtuellen Institut Smart Energy (bspw. im Rahmen der Technologiebetrachtung in Teilprojekt 1 „Weiterentwicklung VISE“) geschaffen. Im Rahmen dieses Abschlussberichts werden die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse des Technologie-Screenings vorgestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Technologie-Kategorisierung und -Bewertung ist in der separaten Veröffentlichung „*Technologie-Screening: Smarte Technologien für Unternehmen*“ dokumentiert.

### 2.1.1 Kategorisierung auf dem Markt erhältlicher Systeme

Die Definition „smarter Technologien“ bzw. smarter Produkte (s. Kapitel 1.2.1) beschreibt die Kombination moderner, digitaler Technologien (beispielsweise zur Messung, Analyse oder Steuerung) mit den Möglichkeiten der Informationstechnologie (IT) und Kommunikationsmedien. Dies kann beispielsweise in Form einer App oder einer web-basierten Steuerungs- oder Visualisierungssoftware der Fall sein. Eine Schnittstelle zur IT ist besonders wichtig, da die Digitalisierung einen essentiellen Einfluss auf die Energiewirtschaft und die in dieser Branche angebotenen Technologien hat. Hinzu kommt, dass Themen wie „Vernetzung“ und „Kommunikation“ branchenübergreifend an Bedeutung gewinnen.

Aufgrund dieser Definition kann eine erste Abgrenzung zwischen „klassischen“ Energieeffizienzmaßnahmen und Maßnahmen durch den Einsatz smarter Technologien erfolgen. Der Bereich von klassischen Energieeffizienzmaßnahmen, der beispielsweise die Umrüstung auf LED-Beleuchtung oder auch Anwendungen im Bereich der Querschnittstechnologien (z. B. Pumpen, Druckluft) umfasst, wird im Rahmen des Technologie-Screenings zunächst nicht weiter vertieft und einbezogen. Die hohen Potenziale dieser Effizienzmaßnahmen waren jedoch vor allem für den Anwendungstest im Forschungsprojekt von Bedeutung.

Die Betrachtung smarter Technologien für Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement im Unternehmenskontext ist ein weitläufiges Themenfeld, welches Anbieter verschiedenster Branchen einschließt. Anders als im Haushaltsbereich, wo sich smarte Technologien größtenteils in Form von Unterhaltungselektronik und Smart Home-Systemen durchgesetzt haben (s. Technologie-Screening VISE-Haushalte), weist der gewerbliche Bereich weitaus vielfältigere Einsatzmöglichkeiten und komplexere Strukturen auf.

Neben der professionellen Gebäudeautomation werden im produzierenden Gewerbe häufig Prozessleit- und Steuerungssysteme eingesetzt. Dies führt in der Praxis zu einer komplexen Anordnung von Automatisierungsebenen. Jeder Ebene sind dabei spezielle Aufgaben zuzuordnen. Entsprechend der Funktion der Ebene haben sich zur Datenübertragung verschiedene Standards durchgesetzt, die in der Regel als Bussystem (z. B. Feldbus) bezeichnet werden. In der folgenden Abbildung ist die Automatisierungspyramide, die sowohl für Prozessautomatisierung als auch Gebäudeautomatisierung angewendet werden kann, schematisch dargestellt (s. Abbildung 5).

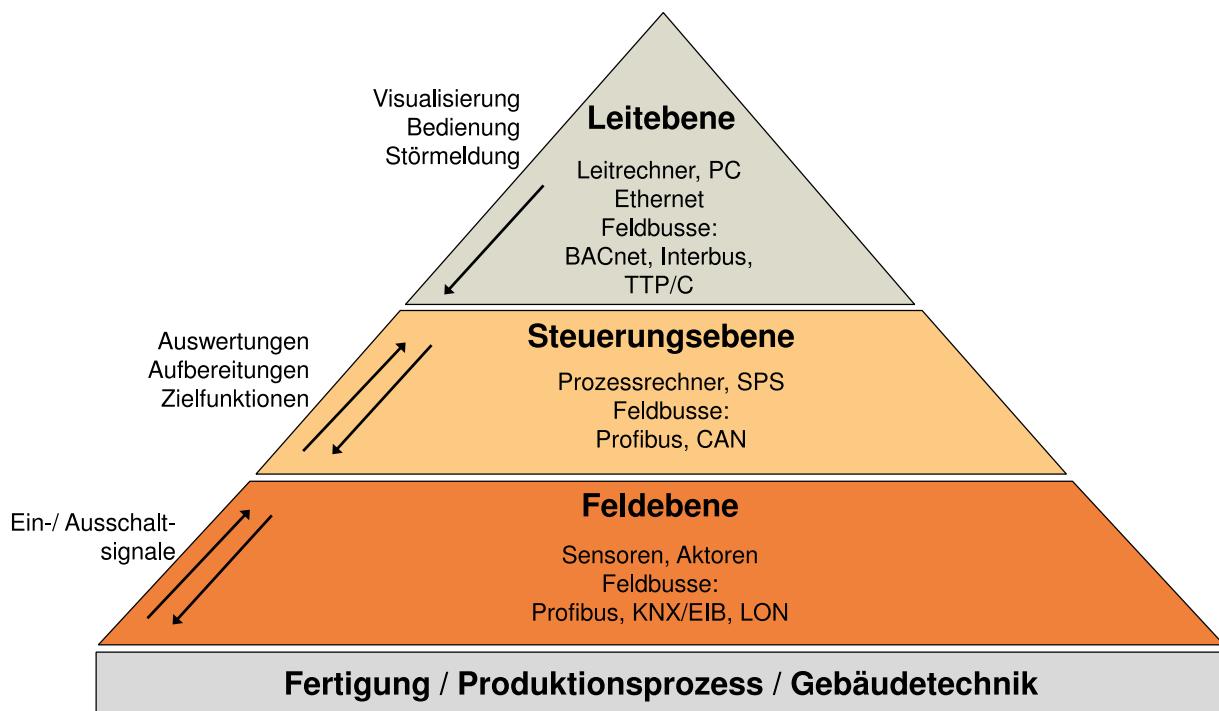


Abbildung 5: Automatisierungspyramide mit Darstellung der Feld-, Steuerungs- und Leitebene

Die Grafik stellt in erster Linie die im gewerblichen Bereich komplexeren gebäudetechnischen Strukturen und Prozesse dar. Für ein allgemeines Technologie-Screening im gewerblichen Bereich dient die Darstellung als Orientierung – denn je nach betrachteter Technologie können diese in unterschiedlichen Ebenen ansetzen oder über mehrere Ebenen hinweg Verbindungen schaffen.

Die Bereiche der Gebäudeautomation und Prozessautomation wirken häufig bis in den Bereich der Leitebenen im Unternehmen. Entsprechend komplex sind der Aufbau und die Steuerung dieser Systeme. Daher wird für das Technologie-Screening in diesem Forschungsprojekt der Fokus auf Technologien gesetzt, die der **Feldebene** zuzuordnen sind. Darüber befindliche Prozess- und Gebäudesteuerungen werden nicht detailliert betrachtet, zumal der Fokus auf den Bereichen Energieeffizienz sowie dem Energie- und Lastmanagement liegt. Diese Potenziale werden häufig durch den Einsatz von Technologien (Sensorik und Aktorik) in der Feldebene erschlossen.

Allgemein wird das Technologie-Screening bedingt durch die Fokussierung auf energietechnische Systeme und Anwendungen weiter eingegrenzt. In der nachfolgenden Abbildung ist die finale Übersicht der Kategorisierung von smarten Technologien in Unternehmen dargestellt (siehe Abbildung 6). Die Grafik wurde im Laufe des Forschungsprojekts kontinuierlich aktualisiert und angepasst, beispielsweise durch die Aufnahme neuer Technologie-Kategorien und das Screening auf Hersteller-Ebene.

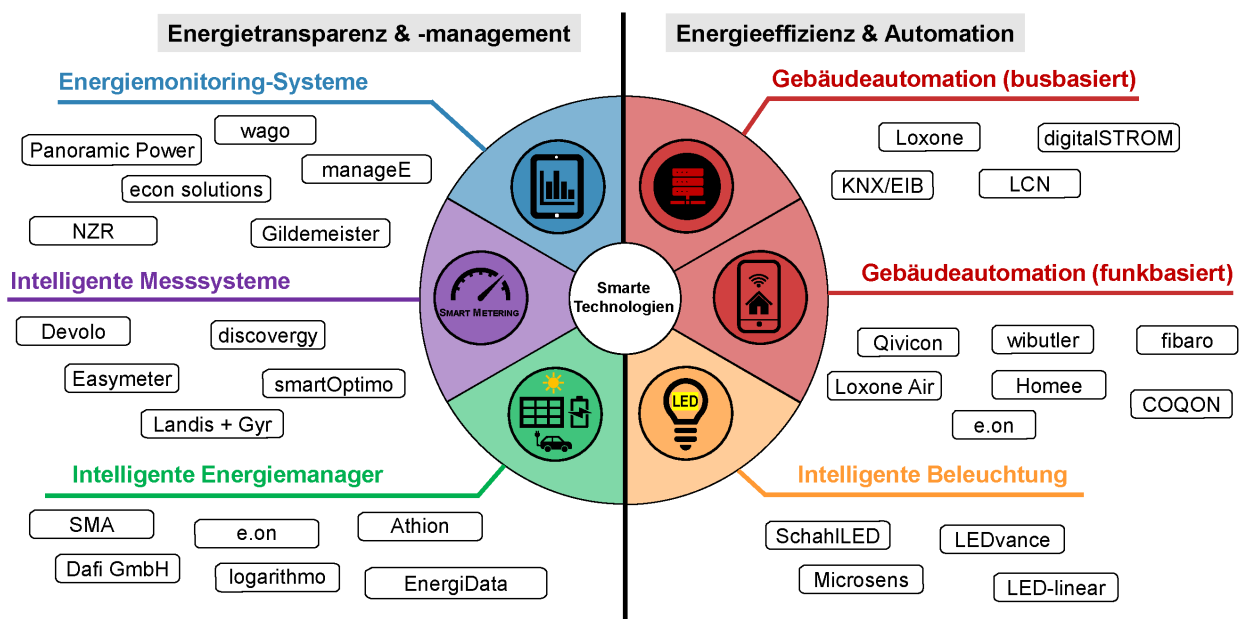


Abbildung 6: Überblick über das Technologie-Screening und die Kategorisierung smarter Technologien für Unternehmen

Wie anhand der Abbildung deutlich wird, wurden insgesamt sechs Technologie-Kategorien gebildet, die jeweils Systeme einzelner Hersteller umfassen.<sup>1</sup> Darüber hinaus wurden die Kategorien übergeordnet dem jeweiligen Hauptnutzen zugeordnet, den sie beim Einsatz im Unternehmen liefern. So können die Kategorien „Energiemonitoring-Systeme“, „Intelligente Messsysteme“ und „Intelligente Energiemanager“ dem Hauptnutzen „Energietransparenz & Energiemanagement“ zugeordnet werden (s. Abbildung 6, linke Seite). Hierbei handelt es sich zum einen um Systeme, die dem Messwesen (Messung von Energieströmen und Zustandsgrößen) zur Schaffung von Energietransparenz angehören. Zum anderen sind auch Systeme zum Steuern und Regeln von Verbrauchern und Erzeugungsanlagen und dem damit verbundenen Energiemanagement von Energiesystemen diesem Hauptnutzen zuzuordnen. Die Technologie-Kategorien „Gebäudeautomation (busbasiert)“, „Gebäudeautomation (funkbasiert)“ und „Intelligente Beleuchtung“ können dem Hauptnutzen „Energieeffizienz & Automation“ zugeordnet werden (s. Abbildung 6, rechte Seite). Hier lassen sich vor allem Systeme verorten, welche die Automation von Prozessen der Gebäudeautomation (z. B. Nutzung von Smart Home- Systemen) oder Energieeinsparungen ermöglichen (Einsatz sensorgesteuerter LED-Beleuchtung). Eine detaillierte Beschreibung der Technologie-Kategorien (technischer Aufbau und Eigenschaften) ist in der Veröffentlichung „Technologie-Screening: Smarte Technologien für Unternehmen“ dokumentiert.

### 2.1.2 Bewertung und Vergleich smarter Technologien

Der nachfolgend beschriebene Vergleich sowie die Bewertung werden im Rahmen dieses Technologie-Screenings auf Ebene der sechs vorgestellten Technologie-Kategorien durchgeführt. Somit werden Einzelbewertungen auf System- bzw. Hersteller-Ebene vermieden. Darüber hin-

<sup>1</sup>Das Technologie-Screening im Rahmen des Forschungsprojekts VISE-U erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die in der Grafik angegebenen Hersteller/Anbieter stehen beispielhaft für Unternehmen, deren Systeme aktuell (Stand: August 2020) auf dem Markt angeboten werden.

aus sind alle Bewertungskriterien mit dem Fokus auf den Einsatz der Technologien für den Anwendungsbereich kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) entwickelt worden. In diesem Kontext sind unter anderem die folgenden Aspekte besonders relevant:

**1) Sinnvolles Kosten-Nutzen-Verhältnis**

- möglichst geringes Investitionsvolumen bei gleichzeitig akzeptablem Mehrwert und Nutzen (beispielsweise hinsichtlich Energieeinsparungen)

**2) Geringer Installationsaufwand**

- Systeme lassen sich idealerweise einfach nachrüsten und der Installationsaufwand ist gering

Vor allem Praxiserfahrungen haben aufgezeigt, dass diese Aspekte insbesondere bei der Betrachtung von KMU berücksichtigt werden müssen. Gerade in kleinen und mittelständischen Betrieben haben hohe Investitionssummen und ein erhöhter Aufwand für die Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz einen großen Einfluss auf Umsetzungsentscheidungen. Daher müssen Lösungsansätze basierend auf smarten Technologien vor allem unter diesen Aspekten betrachtet und entwickelt werden.

Um eine nachvollziehbare Bewertung der Technologie-Kategorien sicherzustellen, wird eine Bewertungsmatrix erstellt. Die Bewertungsmatrix für die Beurteilung der Technologie-Kategorien ist nach einem Punktevergabesystem aufgebaut. Dabei wird den einzelnen Kriterien jeweils eine Maximalpunktzahl zugeordnet, was gleichzeitig der **Gewichtung des Kriteriums** an sich entspricht. Insgesamt werden **100 Punkte** als Maximalpunktzahl definiert und diese werden in fünf maßgebliche Kriterien aufgeteilt:

- 1) Allgemeine Anwendbarkeit im gewerblichen Bereich
- 2) Energieeffizienzpotenzial und Mehrwerte
- 3) Energie- und Lastmanagementpotenzial
- 4) Kompatibilität und Schnittstellen
- 5) Kosten

Um eine möglichst vollständige technische Beschreibung einzelner Systeme zu ermöglichen und damit auch eine Bewertungsgrundlage für die Technologie-Kategorien zu schaffen, wurde neben der Recherche nach Produktdatenblättern auch der Kontakt zu Herstellern aufgenommen. Nach Möglichkeit wurde die Einschätzung der Hersteller (beispielsweise zur Anwendbarkeit im gewerblichen Bereich oder der allgemeinen Funktionsweise der Systeme) in den Steckbriefen und Beschreibungen berücksichtigt. Eine ausführliche Dokumentation der Steckbriefe und Beschreibungen einzelner Systeme ist in der separaten Veröffentlichung „*Technologie-Screening: Smarte Technologien für Unternehmen*“ aufgeführt.

In diesem Kapitel wird daher lediglich auf die Gesamtbewertung der Technologie-Kategorien eingegangen. Ebenfalls werden in dieser Bewertung nochmals für KMU relevanten Aspekte (u. a. **sinnvolles Kosten-Nutzen-Verhältnis** und **geringer Installationsaufwand**) aufgegriffen und einbezogen.

Abbildung 7 zeigt einen Überblick über das finale Ranking der Technologie-Kategorien sowie die jeweilige Gesamtbewertung. Die Kategorie *intelligente Messsysteme* hat mit einer Gesamtpunktzahl von 85 Punkten die höchste Bewertung erreicht. Darauf folgend sind *Energiemonitoring-Systeme* sowie *intelligente Energiemanager* mit jeweils 75 Punkten bewertet worden. Mit 65 Punkten

liegen *intelligente LED-Beleuchtungssysteme* auf dem vierten Platz, gefolgt von *leitungsgebundenen Gebäudeautomationssystemen* mit 62 Punkten. *Funkbasierte Gebäudeautomationssysteme* haben mit 57 Punkten kategorieübergreifend die niedrigste Gesamtbewertung erreicht.

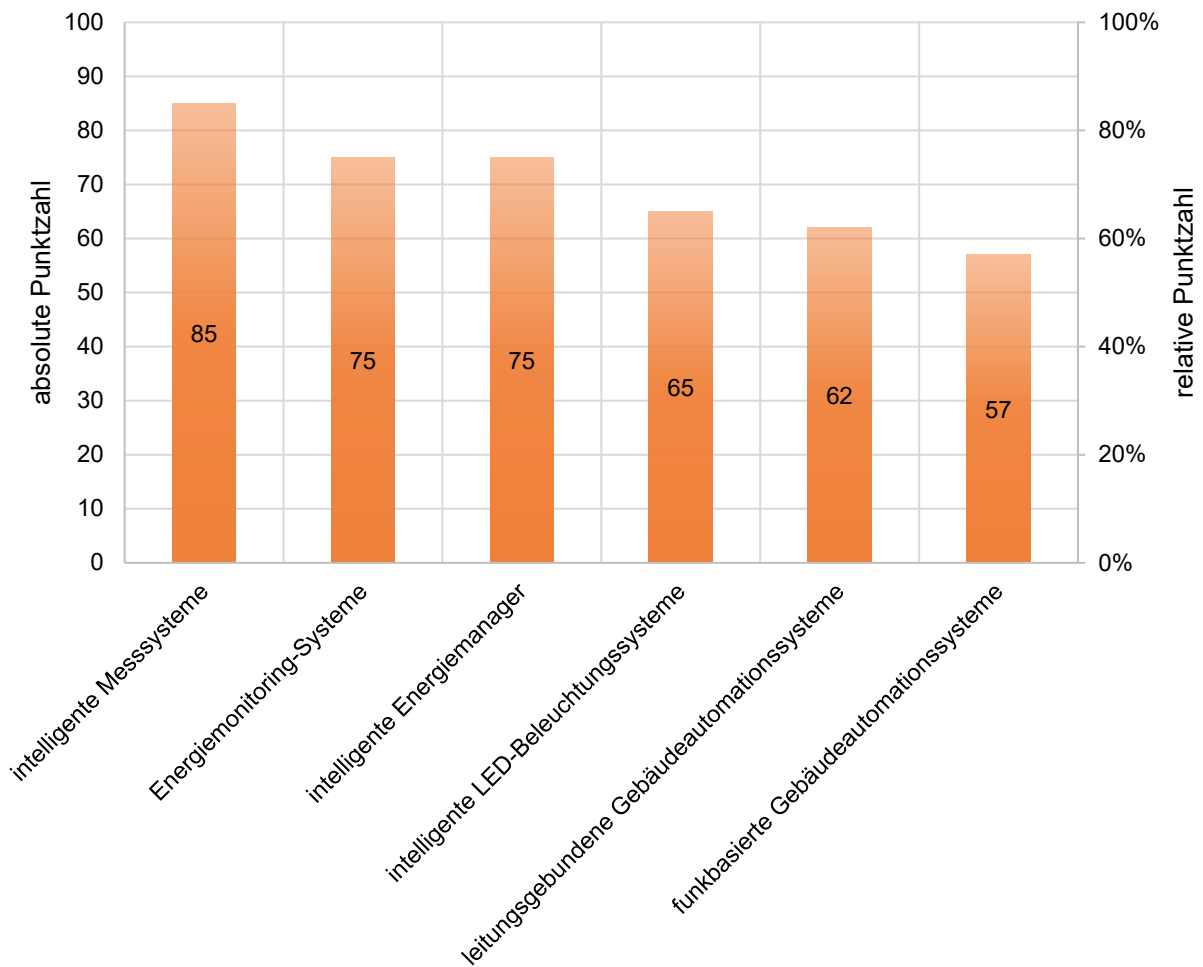


Abbildung 7: Übersicht der erreichten Gesamtpunktzahl der einzelnen Technologie-Kategorien

Der Vergleich und die Bewertung aller Technologie-Kategorien in diesem Screening hat somit aufgezeigt, dass der Einsatz *intelligenter Messsysteme* eine sinnvolle Lösung für KMU zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zur Verbesserung des Energie- und Lastmanagement darstellt. Der Grund dafür liegt vor allem darin, dass intelligente Messsysteme in allen betrachteten Bewertungskategorien gut abschneiden. Der Einsatz der Systeme kann für KMU einen erheblichen Mehrwert darstellen: So ermöglichen Visualisierungslösungen über die Smart Meter-Gateway-Infrastruktur erstmals eine detaillierte Analyse des energetischen Ist-Zustands der Unternehmen. Ebenso bieten Smart Meter-Gateways perspektivisch auch Möglichkeiten zur Ansteuerung von Erzeugungsanlagen und Verbrauchern sowie zur Nutzung zeitvariabler Tarife. Zusätzlich werden Grundlagen für Mehrwertdienste wie Benchmarking oder Predictive Maintenance generiert. Des Weiteren verfügen intelligente Messsysteme über eine Vielzahl an gängigen funkbasierten sowie leitungsgebundenen Schnittstellen. Dadurch wird eine Implementierung in komplexe und gebäudetechnische Strukturen und Prozesse im gewerblichen Bereich ermöglicht. Die Kosten werden durch Preisobergrenzen im MsbG geregelt, wodurch lediglich die Installationskosten berücksichtigt werden müssen. Durch das Zertifizierungsverfahren des Bundes wird darüber hinaus ein hohes Maß an Datensicherheit gewährleistet.

Die Kategorie der *Energiemonitoring-Systeme* hat im Rahmen dieses Screenings ebenfalls vergleichsweise gut abgeschnitten (siehe Abbildung 7). Obwohl *Energiemonitoring-Systeme* keinen Mehrwert im Bereich Lastmanagement (beispielsweise aktive Ansteuerung von Erzeugungsanlagen und Verbrauchern) bieten, liefern sie dennoch eine wichtige Basis für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen sowie die Analyse von Energiesystemen: Der Einsatz von *Energiemonitoring-Systemen* schafft Transparenz über die Energie- und Lastflüsse in Haupt- und Unterverteilungen des Energiesystems. Erst durch die Erhebung, Analyse und Auswertung dieser Energiedaten ist das Einsatzpotenzial weiterer smarterer Technologien und Effizienzlösungen vollumfänglich darstellbar. Darüber hinaus sind Energiemonitoring-Systeme von der mobilen Messkoffer-Lösung bis hin zum stationären, DIN EN ISO 50001 konformen System skalierbar. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Anwendungstests dieses Forschungsprojekts der Schwerpunkt auf den Einsatz mobiler Messsysteme als Unterkategorie der *Energiemonitoring-Systeme* gelegt.

*Intelligente Energiemanager* sind erst während des Technologie-Screenings als neue Kategorie in das Screening aufgenommen worden. Obwohl die Praxisanwendung dieser Systeme noch nicht so weit fortgeschritten ist wie bei den anderen Technologien, punkten *intelligente Energiemanager* vor allem in den Bereichen „Energie- und Lastmanagementpotenzial“ und „Kompatibilität / Schnittstellen“. Die Kosten zur Installation und Inbetriebnahme solcher Systeme sind allerdings noch vergleichsweise hoch, da nicht zuletzt auch ansteuerbare Assets wie Photovoltaik-Anlagen oder Batteriespeicher vorhanden sein müssen. Dennoch spielt diese Kategorie in zukünftigen Energiesystemen in Unternehmen eine entscheidende Rolle, um Erzeugungsanlagen, Verbraucher und Energiespeicher intelligent zu verknüpfen.

*Intelligente LED-Beleuchtungssysteme* sowie *funkbasierte* und *leitungsgebundene Gebäudeautomationssysteme* haben in dieser Bewertung zwischen 65 und 57 Punkten erreicht (siehe Abbildung 7). Die Tatsache, dass diese Technologie-Kategorien im unmittelbaren Vergleich weniger gut abschneiden, bedeutet jedoch nicht, dass kein Einsatzpotenzial dieser Technologien in KMU vorhanden ist. So sind beispielsweise *intelligente LED-Beleuchtungssysteme* praxiserprobt, ohne großen Installationsaufwand einzubauen und bieten ein hohes direktes Energieeffizienzpotenzial. Im Bereich der Erschließung von Energie- und Lastmanagementpotenzialen sowie Kompatibilität und Schnittstellen sind die Systeme jedoch weniger umfangreich ausgestattet als zum Beispiel *intelligente Messsysteme* oder *intelligente Energiemanager*. Weiterhin ist der Anwendungskontext für *intelligente Beleuchtungssysteme* entscheidend: So kommt es insbesondere in größeren Lagerhallen und Logistikzentren zu erheblichen Einsparungen durch intelligente Beleuchtungssysteme. In kleinen Betrieben kann jedoch bereits die Umrüstung von einer konventionellen Beleuchtung auf LED-Beleuchtung sinnvoll sein, vor allem in Bezug auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis.

*Gebäudeautomationssysteme* hingegen schneiden im Bereich der Schnittstellen (beispielsweise zu Prozessleit- und Steuerungssystemen) etwas besser ab, jedoch ist die allgemeine Anwendbarkeit dieser Systeme im gewerblichen Bereich mit vergleichbar geringer Punktzahl bewertet worden. So ist die Installation *leitungsgebundener Gebäudeautomationssysteme* in der Regel mit hohem Aufwand verbunden (Anlegen neuer Kabelkanäle und ggf. Kabelschlitze in Wänden) und entsprechend kostenintensiv. Ebenso ist die Anwendbarkeit *funkbasierter Gebäudeautoma-*

tionssysteme durch den ursprünglichen Einsatz im Haushaltsbereich nur bedingt im gewerblichen Bereich gegeben, wie die Einschränkungen bei der maximalen Komponentenzahl (80-250 je nach System) sowie der Funkreichweite (30-40 m abhängig von der Gebäudestruktur) zeigen. Hersteller funkbasierter Gebäudeautomationssysteme haben auf diese Einschränkungen jedoch bereits reagiert (bspw. mit der Installation von Mesh-Netzwerkinfrastrukturen).

Die Aufschlüsselung der Punktevergabe der einzelnen Kategorien in den jeweiligen Bewertungskriterien ist detailliert in der Veröffentlichung „*Technologie-Screening: Smarte Technologien für Unternehmen*“ beschrieben.

### 2.1.3 Übergreifende Erkenntnisse aus dem Screening

Durch den kontinuierlichen Monitoringprozess des Technologie-Screenings von 2017–2020 konnten sowohl die **Entwicklungen des Marktes** als auch allgemeine **Trends** beobachtet werden. So ist im Laufe des Screenings die Technologie-Kategorie *intelligente Energiemanager* erstellt worden, die u. a. Systeme zur Steuerung und Regelung von Erzeugungsanlagen, Energiespeichern und Verbrauchern umfasst. Dadurch kann z. B. ein möglichst hoher Eigenverbrauch sichergestellt werden. Für das effiziente Management zukünftiger Energiesysteme in Unternehmen wird die intelligente Verknüpfung der vorhandenen Erzeugungsanlagen und Verbraucher eine wichtige Rolle spielen. Dies ist bspw. im Zuge zeitvariabler Stromtarife und der Nutzung eines darauf abgestimmten Lastmanagements möglich. Weiterhin lässt sich der allgemeine Trend hin zum **Einsatz künstlicher Intelligenz** in verschiedenen Anwendungsszenarien feststellen. So kommen hier i. d. R. Software und Algorithmen zum Einsatz, die, basierend auf vorhandenen Energie- und Betriebsdaten, einen digitalen Zwilling eines Gebäudes oder technischer Anlagen (bspw. der Kältetechnik) erstellen und dadurch ein optimiertes, effizienteres Betriebsverhalten ermöglichen.

Insgesamt zeigt das Technologie-Screening, dass ein breites Angebot an Systemen zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zum Energie- und Lastmanagement in Unternehmen marktseitig gegeben ist. Unter Berücksichtigung der KMU-Kriterien bietet der Markt jedoch nur **wenige sinnvolle, spezifische Lösungen für KMU** an. Technologien, die gerade für die Anwendung in kleineren Unternehmen mit entsprechend geringem Energieverbrauch geeignet sind (bspw. mobile Messtechnik), werden in der Regel als Nischenprodukte angeboten und entsprechend vermarktet. Um das volle Potenzial für Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement zu erschließen, müssen zukünftig zusätzliche bezahlbare und ohne großen Aufwand umsetzbare Lösungsansätze für KMU entwickelt und in der Praxis umgesetzt werden. Einen möglichen Baustein dazu liefert die im Rahmen des Anwendungstests entwickelte Effizienzanalyse von KMU mit Einsatz mobiler Messtechnik und Visualisierungssoftware (VISEABLE, s. Kapitel 3). Die Erfahrungen aus dem Anwendungstest haben gezeigt, dass erst durch den Einsatz mobiler Messtechnik und der Analyse des energetischen Ist-Zustands der Mehrwert von digitalen Lösungen in Summe für das Unternehmen dargelegt werden kann.

## 2.2 Engineering-Prozess für den Einsatz smarter Technologien

Im Technologie-Screening standen smarte Technologien in Form von physischen Produkten im Fokus. Diese zeichnen sich dadurch aus, bestimmte Funktionen auszuführen und dafür Informationen aus ihrer Umgebung zu erfassen und teilweise die Fähigkeit zu besitzen, auf ihre Umgebung einzuwirken (siehe Kapitel 1.2.1). Hierfür werden die Produkte in aller Regel mit Mikrocontrollern ausgestattet, die die Funktionalität steuern. Hier lässt sich erkennen, dass Hardware und Software immer zu einem gewissen Maße miteinander verwoben sind, denn Mikrocontroller führen letztendlich Programme aus, die in das Gerät einprogrammiert worden sind. Bei smarten Technologien kann man also nicht von reiner Hardware sprechen, da sie praktisch immer auch Software enthält.

Auch wenn smarte Technologien bereits Software enthalten, kann man sie in größere Software-Systeme einbinden, da sie Kommunikationsschnittstellen anbieten, über welche externe Programme mit den smarten Produkten interagieren können. Dies macht gerade die "Smartheit" der smarten Technologien aus. Im Forschungsprojekt wurde zunächst untersucht, wie ein Software-System entwickelt werden kann, das zusammen mit smarten Technologien zum Einsatz kommen soll. Dafür wird ein Entwicklungsprozess vorgeschlagen, mit dem smarte Technologien und die zu entwickelnde Software im Unternehmen eingeführt werden sollen.

Im Folgenden wird beleuchtet, welche allgemeinen Ziele mit der Einführung smarter Technologien verfolgt werden. Als Grundlage dienen Modelle aus der Disziplin des *autonomic computing*, worauf aufbauend der Engineerings-Prozess entwickelt wird. Der Prozess besteht aus mehreren Schritten, die an die Bedürfnisse des Unternehmens angepasst werden können, sodass KMU auch aus den verschiedensten Branchen in der Lage sind, diesen Prozess anzuwenden.

### 2.2.1 Automatisierung durch Digitalisierung

Digitalisierung bedeutet im engeren Sinne die Umwandlung von analogen Werten in digitale und ihre anschließende Verarbeitung und Speicherung in digitaltechnischen Systemen. Heutzutage hat sich die geläufige Bedeutung deutlich in Richtung von Verarbeitung in informationstechnischen System verschoben. Prozesse, die früher manuell durchgeführt wurden und damit einhergehend mit Ungenauigkeiten behaftet waren, können in jüngerer Zeit automatisch, in kürzerer Zeit und mit höherer Präzision ausgeführt werden. Dies wird durch die immer weiterentwickelte Informationstechnik ermöglicht.

Ein Ziel der Digitalisierung ist die Automatisierung von Prozessen. Die Vorteile liegen dabei auf der Hand: Aufgaben, die von Menschen eher ineffizient bearbeitet werden, können schneller und mit einer höheren Zuverlässigkeit erledigt werden. Prozesse müssen aber nicht als Ganzes automatisiert werden, um einen Mehrwert zu erhalten. Es bietet sich an, ein Schema zu verwenden, um den Grad der Automatisierung zu beschreiben.

Im Energiesektor finden sich viele Prozesse, die dazu bestimmt sind, Systeme jeglicher Art zu steuern; seien es energieerzeugende Systeme wie Photovoltaikanlagen oder energieverbrauchende Systeme wie Maschinen und Beleuchtungsanlagen. Für die Automatisierung der Steuerung solcher Systeme bedienen wir uns an den Begriffen des *autonomic computing*. In dem Kontext wird eine Architektur für solche autonome Systeme vorgeschlagen, die *MAPE-K*-Zyklus genannt wird (Kephart & Chess, 2003). Die einzelnen Buchstaben stehen für die jeweiligen Phasen, die das System für die Steuerung durchläuft (s. Abbildung 8).

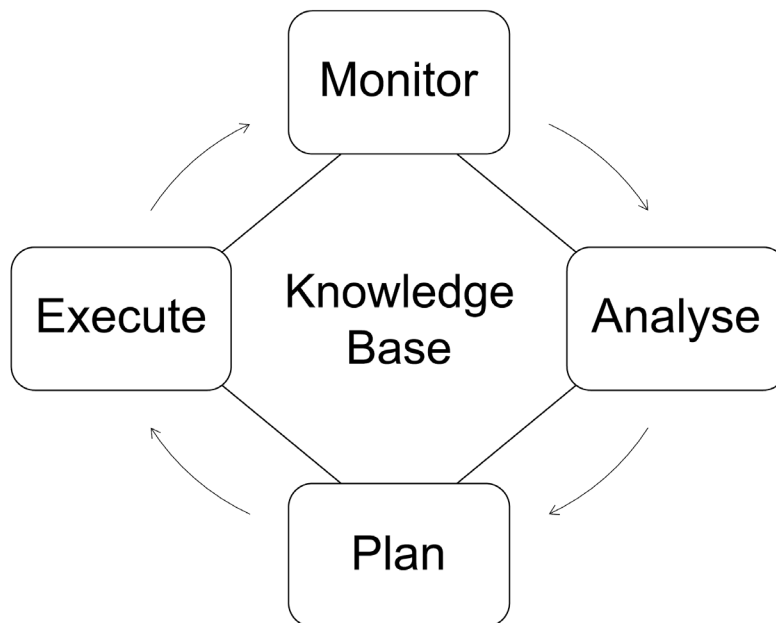


Abbildung 8: MAPE-K-Zyklus (nach Kephart & Chess, 2003)

**Monitoring** beschreibt das Beobachten und Erheben von Daten über das gesteuerte System, die für die Steuerung relevant sind. **Analysing** steht für das Aufbereiten der erhobenen Daten, um Schlüsse für die weitere Steuerung zu ziehen. **Planning** befasst sich mit den möglichen Maßnahmen, um basierend auf den gezogenen Schlüssen auf das System einzuwirken. **Executing** schließlich stellt den finalen Schritt dar, nämlich das Ausführen der Maßnahmen, um das System im Sinne der Zielsetzung zu steuern. Sobald eine Maßnahme getroffen worden ist, fängt der Zyklus wieder beim *monitoring* an, da sich das System potenziell verändert hat. Während des Zyklus werden in die Entscheidungen auch gesammeltes Wissen (**Knowledge**) mit einbezogen.

Mit dem MAPE-K-Zyklus ist es möglich, den Grad der Automatisierung eines Systems zu beschreiben. Man muss nur angeben, welche Schritte noch händisch vom Menschen durchgeführt werden und welche bereits automatisiert ablaufen. Dabei fängt die Automatisierung in der Regel beim *monitoring* an und setzt sich entlang des Zyklus fort. So ist es auch möglich, den MAPE-K-Zyklus als Blaupause zu verwenden, die Steuerung eines Systems nach und nach zu automatisieren.

## 2.2.2 Software-Engineering und smarte Technologien

Smarte Technologien, wie sie in Abschnitt 2.1 beschrieben worden sind, stellen einen wesentlichen Baustein zur Digitalisierung des Energiesektors dar. Es handelt sich in der Regel um digitaltechnische Geräte, die Daten erheben und verarbeiten. Damit diese in den Betrieben zum Einsatz kommen können, müssen diese häufig erst mit den bestehenden Systemen verbunden werden, was den Einsatz von Software nötig macht.

Die Entwicklung von Software lässt sich heute kaum noch vollständig vorausplanen, da Anforderungen immer komplexer geworden und im Vorfeld selten komplett verstanden sind (Book et al., 2017). Deswegen ist es gängige Praxis, die Entwicklung der Software parallel mit dem Verständnis der Anforderungen durchzuführen, was unter dem Begriff der agilen Softwareentwicklung zusammengefasst wird. Konkret wird ein bereits lauffähiges Programm entwickelt, das einen Teil der Anforderungen erfüllt. Anhand dieses Programms wird beurteilt, ob die Anforderung

richtig umgesetzt worden ist oder nicht und darüber hinaus sogar ob die Anforderung korrekt formuliert worden ist oder nicht. Das Feedback fließt so entweder in die weitere Entwicklung der Software oder in die Formulierung der Anforderungen.

Gewisse Anforderungen stehen im Vorfeld aber bereits fest; dazu gehören die Rahmenbedingungen im Betrieb. Sollen smarte Technologien (neu) zum Einsatz kommen, so müssen die bisher betriebenen Systeme berücksichtigt werden, damit die Zusammenarbeit der Systeme gewährleistet werden kann. Neben bereits vorhandenen smarten Technologien spielt die Netzwerkinfrastruktur eine große Rolle, da darüber die Kommunikation stattfindet. Die örtlichen Gegebenheiten müssen erfasst werden, um die weiteren Anforderungen abzustimmen.

Für die Entwicklung der Software wird nun der agile Ansatz durchgeführt. Die Anforderungen werden gemeinsam mit den Domänen-Experten aufgestellt, d.h. mit den Betriebsmitgliedern und ggf. Dritten, die fachlich mit den gewünschten Veränderungen vertraut sind. Die funktionalen Anforderungen zielen darauf ab, bestehende Prozesse zu automatisieren. Zu den möglichen Bausteinen der Lösung zählen die smarten Technologien, über die natürlich eine gute Übersicht vorhanden sein muss.

Sobald die Anforderungen aufgestellt worden sind, müssen die notwendigen Technologien ausgewählt werden. Dies gilt sowohl für die Software als auch die Hardware, was die smarten Technologien miteinschließt. Mit dieser Auswahl wird prototypisch eine Lösung entwickelt, um im Sinne des agilen Entwicklungsprozesses ein schnelles Feedback der beteiligten Akteure erhalten zu können. So endet die erste Iteration und weitere schließen sich an, in denen die Anforderungen und die entwickelte Lösung weiterentwickelt werden.

Im vorigen Abschnitt wurde der *MAPE-K-Zyklus* erläutert, der jetzt in der Anforderungserhebung genutzt werden kann, um einerseits den bisherigen Grad der Automatisierung zu erfassen und andererseits den Ausbau der Automatisierung zu konzipieren. Hier werden wieder gemeinsam mit den Domänen-Experten die Phasen des anzupassenden Prozesses identifiziert, um anschließend mögliche Wege zu erörtern, die Durchführung der Phasen mit smarten Technologien zu unterstützen. Ist beispielsweise das *monitoring* bereits automatisiert worden, so kann als nächstes das *analysing* in Angriff genommen werden. Hierbei wird die agile Vorgehensweise, wie sie in diesem Abschnitt beschrieben worden ist, für die Entwicklung der einzusetzenden Lösung verwendet. Der gesamte Prozess ist in Abbildung 9 noch mal gekürzt dargestellt.

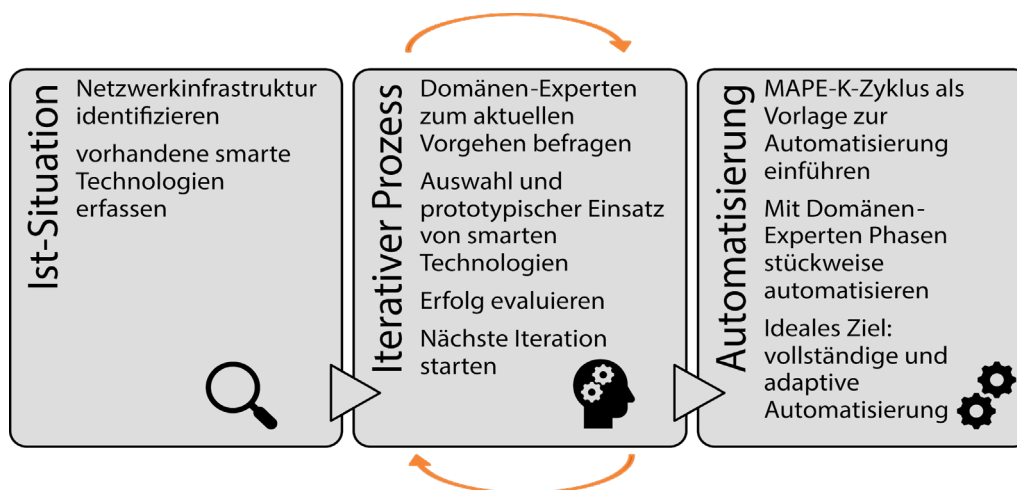


Abbildung 9: Engineering-Prozess für den Einsatz smarterer Technologien

## 2.3 Qualitative sozio-technische Nutzeranalyse

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurden zunächst Ansätze entwickelt und umgesetzt, um mit KMU als Nutzer smarter Technologien in den Dialog zu treten. Dazu wurden u. a. mehrere Technik-Workshops (bspw. in Kooperation mit Unternehmensverbänden) durchgeführt, in denen smarte Technologien vorgestellt wurden und Unternehmer\*innen einzelne Technologien testen und ausprobieren konnten (s. Kapitel 2.3.1). Darüber hinaus konnten durch explorative Tiefeninterviews mit Unternehmer\*innen detaillierte Einblicke zu Einstellung, Wahrnehmung, Wissen und Verhalten gegenüber der Nutzung smarter Technologien, Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement erhoben werden (s. Kapitel 2.3.2). Vor-Ort-Begehungen in KMU haben zusätzlich aufgezeigt, welche Rolle smarte Technologien tatsächlich in der Praxis spielen und den Status-Quo von Energieeffizienz, Energie- und Lastmanagement in mittelständischen Unternehmen dargelegt (s. Kapitel 2.3.3).

### 2.3.1 Technik-Workshops mit Unternehmen

Da KMU nicht von vornherein in das Projektvorhaben eingebunden waren (bspw. über die Kooperation mit Verbänden), war der Dialog zu Unternehmer\*innen als Nutzer smarter Technologien über Workshops und Veranstaltungen zentraler Bestandteil der Projektarbeiten. So wurden im Projektjahr 2018 mehrere Veranstaltungen besucht (u. a. *EnergieAgentur.NRW – Energieeffizienz konkret*) und Workshops gemeinsam mit Partnern organisiert und durchgeführt (u. a. *BVMW FRÜHSchicht – Energie Digital*; *Gildemeister Energy Efficiency – Energieeffizienz 360°*; *Stadt Langenfeld – Future-City-Langenfeld*). Durch diese Veranstaltungen konnten zum einen Eindrücke aus verschiedensten Branchen und Nutzergruppen (z. B. Dienstleistung, Industrie, Einzelhandel) zur Nutzung smarter Technologien, zur Energieeffizienz-Thematik im Allgemeinen sowie zu Energie- und Lastmanagement generiert werden (s. Abbildung 10). Darüber hinaus sind durch die genannten Workshops und Veranstaltungen auch Kontakte zu Unternehmen entstanden, die Interesse an einer Beteiligung am Anwendungstest hatten (z. B. energetische Analyse oder Interviews).



Abbildung 10: Eindrücke aus Workshops und Veranstaltungen mit Unternehmer\*innen als Nutzersmarter Technologien

Mit der Durchführung der Workshops und Veranstaltungen wurde auch das Ziel verfolgt, Unternehmer\*innen smarte Technologien nahe zu bringen und mit dem Konzept „Technik zum Anfassen“ auch eine direkte Mensch-Technik-Interaktion zu ermöglichen (s. Living Lab-Ansatz Kapitel

1.2.5). So wurde in den Vorträgen unter anderem das Technologie-Screening in Form vereinfachter Steckbriefe für einzelne Technologie-Kategorien (s. Kapitel 2.1.1) vorgestellt. Aus den Kategorien „Energiemonitoring-Systeme“ und „Funkbasierte Gebäudeautomationssysteme“ wurden den Teilnehmer\*innen zusätzlich Technologien vor Ort präsentiert. Der Einsatz funkbasierter Gebäudeautomationssysteme (Smart Home-Technik) in Büro- und Verwaltungsgebäuden (hier als „Smart Office“ bezeichnet) wurde in diesem Zusammenhang auf mobilen Demonstrationswänden erläutert (s. Abbildung 11). Einzelne Anwendungen wie die Heizungs- oder Lichtsteuerung in Büroräumen wurden auf der Demonstrationwand dargestellt und anhand konkreter Beispiele erläutert. Durch die Steuerung des Systems via Tablet konnten ebenso Regeln oder Szenarien zum Energiesparen (z. B. Reduktion des Standby-Verbrauchs) oder Komfort (z. B. automatisierte Lichtsteuerung) programmiert werden. Einfache Rechenbeispiele haben in diesem Zusammenhang Energieeinsparpotenziale verdeutlicht, beispielsweise durch die Skalierung der Standby-Verbrauchsreduktion von einem Arbeitsplatz auf ein gesamtes Bürogebäude.

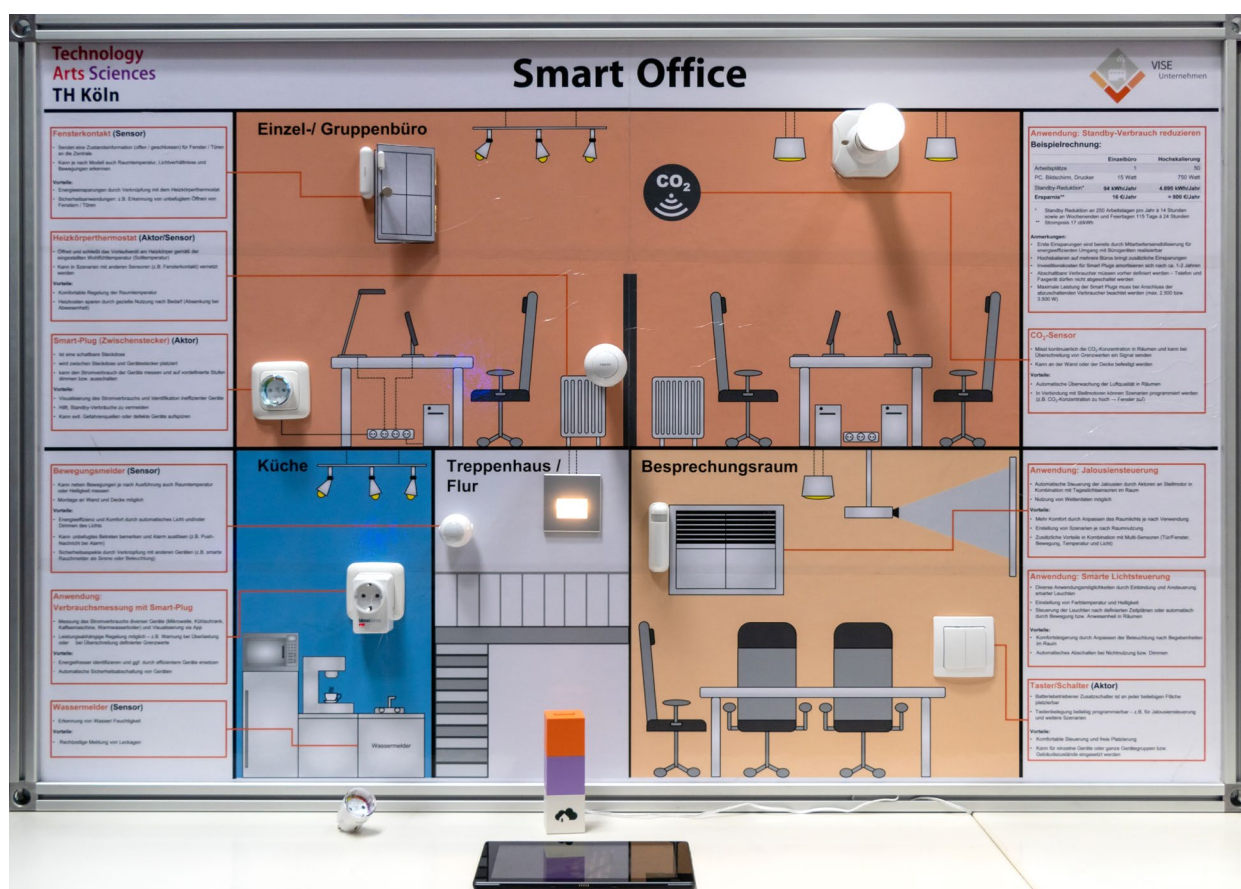


Abbildung 11: Demonstrationwand "Smart Office"

Im Zuge der Technik-Workshops wurden die teilnehmenden Unternehmer\*innen auch darum gebeten, Fragebögen auszufüllen. Mit den Fragebögen wurden allgemeine Angaben zum Unternehmen, der Umgang mit dem Thema Energie im Unternehmen, die Nutzung smarter Technologien sowie die Akzeptanz gegenüber smarten Technologien abgefragt. Die Fragebögen dienten so der Evaluation bisheriger Erfahrungen von Unternehmer\*innen mit smarten Technologien sowie der Einschätzung der Angebots- und Informationslage aus Nutzerperspektive.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung von Unternehmer\*innen der Bereiche Industrie und Dienstleistung aus zwei Workshops gegenübergestellt. In diesem Zuge wurde vor

allein der Unterschied zwischen diesen beiden Teilnehmergruppen in Bezug auf den Umgang mit dem Thema Energie sowie der Anwendung smarter Technologien deutlich. So haben Unternehmer\*innen aus dem Bereich Dienstleistungen die Relevanz ihrer Energiekosten aus betriebswirtschaftlicher Sicht meist als kaum bis weniger relevant eingestuft, wobei für den jährlichen Energieverbrauch < 0,5 GWh und bei der Mehrheit sogar < 0,1 GWh angegeben wurde (s. Abbildung 12). Im Gegensatz dazu haben die Mehrheit der Unternehmer\*innen von Industrieunternehmen auf einem Workshop ihre Energiekosten als weitestgehend bis sehr relevant eingeschätzt und gaben Energieverbräuche von 1-10 GWh und teilweise > 10 GWh an.



Abbildung 12: Korrelation Energieverbrauch und Relevanz der Energiekosten

Anhand von Abbildung 12 wird deutlich, dass die Relevanz der Energiekosten aus Sicht der Unternehmen mit dem Energieverbrauch korreliert. Dies verdeutlicht nochmal den in der Einleitung erwähnten *Energy Efficiency Gap*. Die geringen Energieverbräuche sowie die damit zusammenhängende geringe Relevanz für Energiekosten sind Gründe dafür, dass gerade KMU ihre Einsparpotenziale noch nicht voll ausgeschöpft haben.

Bei der Abfrage des Kenntnisstands zu smarten Technologien im Zuge der Workshops lässt sich ebenfalls eine Differenzierung zwischen Unternehmer\*innen aus den Bereichen Dienstleistung und Industrie erkennen (s. Abbildung 13). So schätzten nur 22% der Unternehmer\*innen von Dienstleistungsunternehmen ihre Kenntnisse zu smarten Technologien als „hoch“ ein, wohingegen 50% der Unternehmer\*innen ihre Kenntnisse als „gering“ eingestuft haben<sup>2</sup>. Beim Workshop mit dem Fokusbereich Industrie schätzten immerhin 50% der Unternehmer\*innen ihre Kenntnisse als „hoch“ ein. Jedoch gaben auch hier 40% der Unternehmer\*innen an, ihre Kenntnisse zu smarten Technologien lediglich als „gering“ einzuschätzen<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Der nicht aufgeführte Anteil an Unternehmer\*innen (28%) hat bei dieser Frage keine Angabe gemacht.

<sup>3</sup> Der nicht aufgeführte Anteil an Unternehmer\*innen (10%) hat bei dieser Frage keine Angabe gemacht.

Wie schätzen Sie ganz allgemein Ihre eigenen Kenntnisse zu smarten Technologien ein?

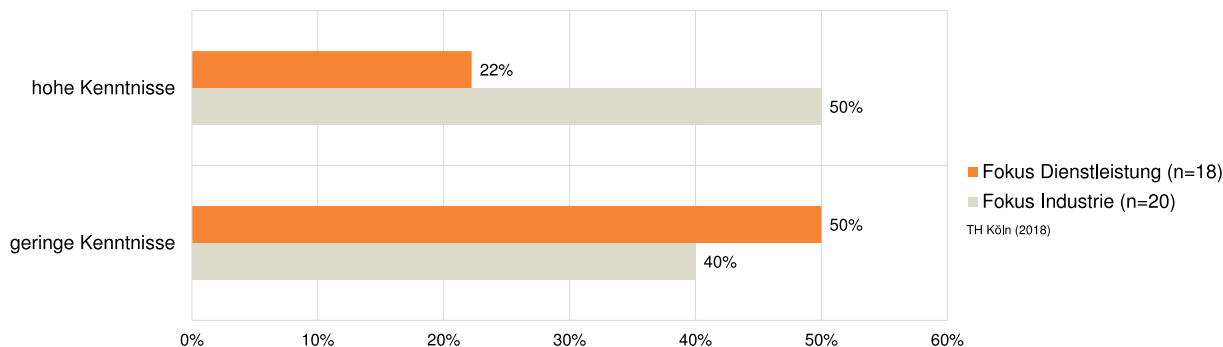


Abbildung 13: Umfrage zum Kenntnisstand smarterer Technologien in den Technik-Workshops

Anhand der Grafik wird deutlich, dass sich viele Unternehmer\*innen vor allem aus dem Dienstleistungsbereich (vorzugsweise KMU) noch nicht mit smarten Technologien auseinandergesetzt haben. Aber auch fast jede\*r zweite Unternehmer\*in aus dem Bereich Industrie stuft die eigenen Kenntnisse zu smarten Technologien als gering ein. Dies zeigt, dass smarte Technologien in Unternehmen mit einem höheren Energieverbrauch (Industrie) zwar bekannter sind, es aber durchaus auch in dieser Fokusgruppe noch Potenziale zur Nutzung der Technologien gibt.

Neben der Abfrage des Wissensstands wurden die Unternehmer\*innen ebenfalls zur Angebotsseite, insbesondere zur Übersichtlichkeit des Marktes smarterer Technologien befragt (s. Abbildung 14). Hier haben lediglich 11 % der Unternehmer\*innen aus dem Bereich Dienstleistung die Übersichtlichkeit des Marktes smarterer Technologien als „gut“ bezeichnet. Jede\*r dritte Unternehmer\*in empfindet die Übersichtlichkeit des Marktes als „weniger gut“ und die Mehrheit (44 %) sogar als „schlecht“<sup>4</sup>. Ein etwas anderes Bild zeigt sich ein weiteres Mal bei der Befragung der Unternehmer\*innen aus dem Bereich Industrie. So bezeichneten hier in Summe 75 % der Unternehmer\*innen die Übersichtlichkeit des Marktes smarterer Technologien als „gut“ bzw. „weniger gut.“ Lediglich 10 % der Unternehmer\*innen hat die Übersichtlichkeit bei diesem Fokusbereich als „schlecht“ bewertet<sup>5</sup>.

Wie empfinden Sie die Übersichtlichkeit des Marktes für smarte Technologien?

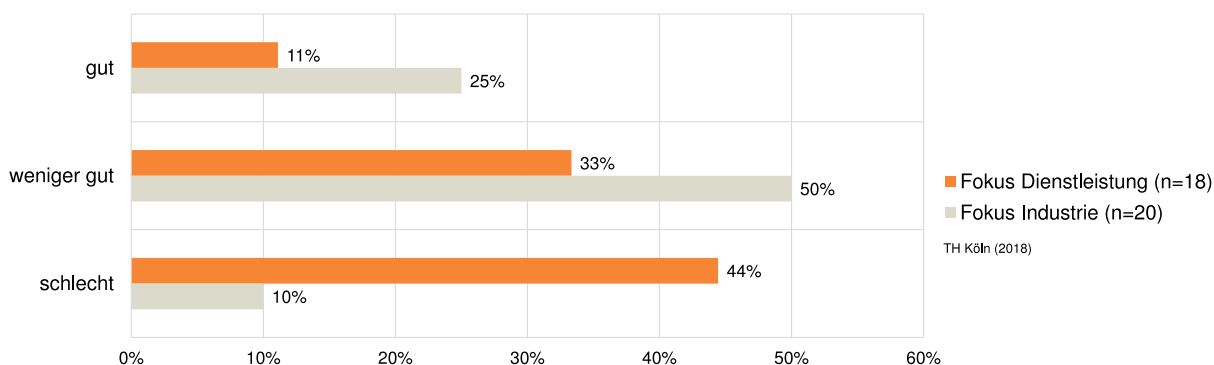


Abbildung 14: Umfrage zur Übersichtlichkeit des Marktes smarterer Technologien in den Technik-Workshops

<sup>4</sup> Der nicht aufgeführte Anteil an Unternehmer\*innen (12 %) hat bei dieser Frage keine Angabe gemacht.

<sup>5</sup> Der nicht aufgeführte Anteil an Unternehmer\*innen (15 %) hat bei dieser Frage keine Angabe gemacht.

Diese Umfrage zeigt, dass auch das Angebot für Unternehmer\*innen transparenter werden muss, denn der Großteil der Teilnehmer\*innen bewertete die Übersichtlichkeit des Marktes als „weniger gut“ bzw. „schlecht“. Auffällig ist darüber hinaus der besonders hohe Anteil an Unternehmer\*innen aus dem Bereich Dienstleistung, die ein übersichtliches Angebot und damit auch spezifische Lösungsansätze für KMU fordern. Somit zeigt sich anhand dieser Umfragen einmal mehr, dass KMU anders mit Energie- und Effizienzthemen sowie smarten Technologien umgehen als große, energieintensive Unternehmen. Darüber hinaus zeigt sich, dass ein geringes Wissen und ein Mangel an Transparenz über das Angebot smarter Technologien in KMU bestehen. Diese Aspekte könnten die Diffusion smarter Technologien behindern.

### **2.3.2 Explorative Interviews: KMU und smarte Technologien**

#### *Vorgehen & Hypothesen: explorativ-qualitative Interviews*

Während sich die sektorspezifischen Unterschiede (Industrie und Dienstleistung) der Befragungen in den Workshops auf die unterschiedlichen Energieverbräuche zurückführen lassen, gibt es bereits Evidenz dafür, dass bei KMU mit geringen Energieverbräuchen zwei sektorunabhängige Kontextbedingungen für Energieeffizienz besonders relevant sind (Fawcett & Hampton, 2020): Erstens sind dies individuelle persönliche Überzeugungen und Werte, da Energiemanagementfunktionen auf eine einzige oder sehr wenige Personen konzentriert sind. Zweitens sind für Unternehmen Kosten damit verbunden, Zeit darauf zu verwenden, Möglichkeiten für Energieeffizienzmaßnahmen zu prüfen, relevante Informationen zu sichten und diese zu verarbeiten – sowie ggfs. technische Fähigkeiten zu erwerben, entsprechende Maßnahmen umzusetzen (grundsätzlich siehe Jaffe & Stavins, 1994). Insbesondere für KMU wird erwartet, dass Informationsbarrieren, versteckte Kosten und Transaktionskosten im Vergleich zu größeren Unternehmen stärker ausgeprägt sind (Fawcett & Hampton, 2020; Fleiter et al., 2012). Ausgehend von diesen Ergebnissen wird den individuellen Einstellungen und Werten der Geschäftsführungen für Energieeffizienzmaßnahmen eine hohe Bedeutung zugewiesen. Um zu beleuchten, inwiefern bei Smart Energy-Technologien die gleichen Barrieren und Probleme bestehen wie bei klassischen Energieeffizienzmaßnahmen, wurden explorative Interviews mit Geschäftsführungen von KMU durchgeführt. Ziel ist es, Einstellungen, Wahrnehmungen, Wissen und Verhalten der Geschäftsführungen im Themenfeld Energie und spezifisch bezogen auf Smart Energy-Technologien zu erfassen. Zudem sollen erste technologiespezifische Aspekte identifiziert werden, die eine Diffusion von Smart Energy-Technologien perspektivisch erleichtern oder erschweren.

Smart Energy-Technologien könnten außerdem einen „game changer“ für die Energieeffizienz von KMU darstellen, wie die beiden nachfolgenden Hypothesen aufzeigen:

1. Hypothese: Da Smart Energy-Technologien (ggfs. nicht vorhandene) Routinen ersetzen und optimieren können, könnten sie gerade für Unternehmer\*innen von Interesse sein, die kaum Routinen oder bewussten Umgang mit Energie im Unternehmen pflegen. Es sind solche Unternehmer\*innen, die klassische Energieeffizienzmaßnahmen aufgrund persönlicher Einstellungen und Werte nicht umsetzen.
2. Hypothese: Andererseits könnten Smart Energy Technologien für Unternehmer\*innen, die bereits ausgeprägte Routinen und bewussten Umgang mit dem Energieverbrauch im Unternehmen pflegen, keinen relevanten Mehrwert darstellen.

Die explorativ-qualitativen Interviews können Hinweise geben, ob für die Implementation von Smart Energy-Technologien, d.h. dieser spezifischen investiven Energieeffizienzmaßnahme, die zentralen Barrieren für klassische Energieeffizienzmaßnahmen (d. h. individuelle Einstellungen und Werte der Unternehmer) umgekehrt werden.

Befragt wurden vier Geschäftsführer\*innen von KMU in NRW. Zwei der Unternehmen bieten IT-Dienstleistungen, eines Druck- und Kopierlösungen und eines Seh- und Hörhilfen sowie damit verbundene Dienstleistungen an. Die Interviews wurden jeweils innerhalb von 20 Minuten bis zu 60 Minuten geführt.

## **Auswertung**

Bezüglich ihrer Einstellungen und Wahrnehmungen gleichen sich zwei der Unternehmer (U1 & U2) sehr stark, während sich der dritte Unternehmer (U3) von den beiden deutlich unterscheidet. U1 und U2 sehen für ihr Unternehmen gar keine Relevanz, Energiemanagement zu betreiben oder Kosten zu reduzieren. Deswegen kümmern sie sich nicht um das Thema, was sich in ihren energiespezifischen Routinen und der Routinen ihrer Mitarbeitenden zeigt. Diametral dazu stehen die Äußerungen von U3 und U4, in deren Unternehmen ein bewusster Umgang gepflegt wird. Wichtig ist dabei, wie nachfolgend deutlich wird, dass divergierende individuelle Einstellungen diese Unterschiede zu erklären scheinen – und nicht objektive Kriterien wie z. B. höhere Energiekosten und Energieverbräuche von U3 und U4 gegenüber U1 und U2. Nachfolgend werden die Dimensionen *Einstellungen*, *Wahrnehmungen*, *Wissen*, und *Verhalten* der Unternehmer zusammenfassend dargestellt.

### *Einstellungen*

Die Dimension „Einstellungen“ umfasst persönliche Ansichten rund um das Thema Energie: die ökonomische Relevanz des Energieverbrauchs, angemessene Amortisationszeiten, strategische Bedeutung und Maßnahmen. Außerdem wird erfragt, was die Unternehmer für ein Verhalten und Ansichten bei der Belegschaft bezüglich Energiesparen wahrnehmen.

Die Frage nach der ökonomischen Relevanz wird unterschiedlich bewertet. Sie zeigt auch grundsätzlich unterschiedliche Einstellungen der Unternehmer zum Umgang mit Betriebskosten auf. Nach der ökonomischen Relevanz gefragt, fällt bei U1 die Antwort kurz und eindeutig aus: „Nee, nee.“ Auch U2 sieht die Kosten als zu gering an, um tätig zu werden: „[D]er Energieverbrauch ist in einem Rahmen, dass wir uns nie ernsthaft Gedanken gemacht haben, wie wir ihn minimieren können, weil das Einsparpotential bisher nicht da ist bzw. [die Energiekosten] in einer Größenordnung, wo wir sagen würden: ‚das tut uns weh!‘“.

Anders hingegen U3. Aus seiner Sicht seien Kosten „immer“ relevant: „Wenn ich irgendwo einsparen kann, ist das immer ein Faktor. Ich bin im Unternehmen aus dem Vertrieb. Jede Mark, die reinkommt, und jede Mark, die ich ausgabe, die kann ich gegeneinander rechnen. Und wenn ich irgendwo einsparen kann, auch wenn es auf lange Sicht ist, ist das immer ein Faktor.“ Auch U4 äußert, dass Energieeffizienzmaßnahmen einen ökonomischen Effekt für das Unternehmen haben: „(...) eine Stunde Beleuchtung am Tag mehr oder weniger macht bei 365 Tagen im Jahr viel aus.“

Die Interviews bestätigen bisherige Ergebnisse, dass bei KMU individuelle Einstellungen der Unternehmer das Energiemanagement prägen und weniger die Energiekosten selbst ausschlagge-

bend sind (vgl. Fawcett & Hampton, 2020). U1 & U2 verstehen Energie nicht als Teil ihres Geschäftsmodells, obwohl sie auf Energie angewiesen sind, um ihre IT-Dienstleistungen anbieten zu können. Anders hingegen U3, bei dem ein solches Bewusstsein vorliegt. U4 bewertet Energieeffizienzmaßnahmen für die eigene Branche als irrelevant, das Thema sei aber von hohem persönlichen Interesse, da ein sorgsamer Umgang mit Ressourcen und das Thema Nachhaltigkeit grundsätzlich wichtig seien. Diese Einstellungen der Unternehmer\*innen scheinen sich auch auf die Mitarbeitenden auszuwirken und somit das alltägliche Energiemanagement in den Unternehmen zu prägen.

Bezogen auf die Frage, inwiefern energiesparendes Verhalten und ein Bewusstsein für die Thematik bei den Mitarbeitenden bestehe, zeigen sich klare Unterschiede in den Antworten. Die beiden Unternehmer U1 & U2 benennen deutlich, dass keine Sensibilisierung in dem Bereich bestehe. So verdeutlicht U2: „Das ist kein Thema. Da macht sich hier auf der Etage keiner Gedanken drüber. [...] Ich habe Phasen erlebt, wo die Fenster auf und die Heizung an waren.“ U1 verweist auf andere Aspekte, die gegenüber Energieeinsparungen priorisiert würden: „Nee, keine Wahrnehmung. Die Leistung ist für die Programmierer das wichtigste. Sie spielen und brauchen hoch leistungsfähige Grafikkarten. Energie ist überhaupt nicht relevant.“

Wiederum zeigt sich die Situation bei dem Unternehmer U3 anders, der ein grundsätzliches Verantwortungsbewusstsein für den Energieverbrauch bei seinen Mitarbeitenden feststellt: „Gefühlt würde ich sagen, dass wir da schon drauf achten. Wenn man durch die Halle schreitet und schaut, dann habe ich schon das Gefühl, dass darauf geachtet wird. Und das nicht, weil wir einen riesen Druck gemacht haben. Sondern weil schon das Verständnis da ist. Ich denke mal schon, dass jeder, der mit offenen Augen durch die Welt wandelt, da schon ein Auge für haben... sollte.“ Ähnlich wird die Situation von U4 bewertet, deren Mitarbeiterschaft auf Energieeffizienz achtet.

Eine weitere relevante Einstellung von Unternehmer\*innen ist, welche Amortisationszeiten für investive Energieeffizienzmaßnahmen als angemessen definiert werden. Denn die meisten Unternehmen in Deutschland (76%) geben die Amortisationszeit als ausschlaggebende Wirtschaftlichkeits-Berechnungsmethode an, um über Investitionen für Energiesparmaßnahmen zu entscheiden (Brüggemann, 2005). In größeren Unternehmen werden häufig nur drei Jahre als höchste Amortisationszeit für Energieeffizienzmaßnahmen akzeptiert (Brüggemann, 2005). Bei den hier befragten kleinen Unternehmen zeigt sich ein diverses, anderes Bild. U3, dessen Unternehmen allerdings erst vor vier Jahren gegründet wurde, gibt an, dass es bei einer Amortisationszeit von mehr als „drei, vier Jahren“ schwierig werde. Liege die Amortisationszeit darunter? „Darüber müssen wir nicht sprechen!“, so der Unternehmer U3. „Wenn da jemand mit einer pfiffigen Idee kommen würde und sagt: ‚Habt ihr in zwei, drei Jahren wieder raus und ab dem dritten Jahr macht ihr ein Plus damit.‘ Ja gut, da müsste man ja Scheuklappen aufhaben, um da nicht zuzuschlagen.“ Bei zwei anderen Unternehmern sind längere Zeiträume denkbar. So gibt U2 an, dass das Bauchgefühl entscheidend sei. Er habe außerdem „[...] wenig davon, wenn die Amortisationszeit im zweistelligen Jahresbereich liegt.“ Zwei Unternehmer gehen auf das Problem als Mieter der Büro- und Verkaufsräume ein: „Ich möchte natürlich nicht in Maßnahmen investieren, die sich dann nach zehn Jahren auszahlen, wir dann aber bereits nach fünf Jahren ausziehen. Das macht keinen Sinn. Und dann ist da natürlich immer noch die psychologische Hemmschwelle. Selbst wenn sich die Dinge in der Laufzeit amortisieren würden: Möchte ich bauliche Maßnahmen finanzieren, die dann jemand anderem gehören?“ Oder „Man weiß ja nicht, was mit

dem Haus hier passiert!“. Deutlich wird an den Zitaten, dass bei diesen Unternehmern *keine* starre Grenze von drei Jahren Amortisationszeit besteht. Längere Amortisationszeiten scheinen keine grundsätzliche Barriere für die Unternehmer darzustellen.

### *Wahrnehmung*

Die Dimension *Wahrnehmung* bezieht sich darauf, inwiefern der eigene Stromverbrauch den Unternehmern präsent ist und ob aktuelle Entwicklungen im Energiemarkt und der Energiewirtschaft sowie im Bereich Smarter Technologien wahrgenommen werden.

Für drei der Interviewten spielen aktuelle Entwicklungen im Energiebereich keine Rolle und auch die eigenen Energiekosten werden von zwei Interviewten nicht als relevant wahrgenommen. Ein Interviewter ganz deutlich: „Energiemarkt? Ich kümmerge mich noch nicht mal darum, zu einem anderen Stromanbieter zu wechseln. Dann gehe ich lieber die Sicherheit: ‚Hey, das läuft‘. Da muss ich mich nicht drum kümmern.“ Wie hoch der eigene Stromverbrauch ist und welche jährlichen Kosten dafür anfallen, ist den befragten Unternehmern nicht präsent. Lediglich U4 verfolgt die aktuellen Entwicklungen auf dem Energiemarkt und auch die jährlichen Stromverbräuche sind bekannt. Es ist aufgefallen, dass nach Umrüstungen im Haus große Energieeinsparungen erzielt werden konnten (durch den Einsatz von Energiesparlampen im Hausflur).

Allerdings nehmen die Unternehmer\*innen aktuelle technologische Entwicklungen in Medien wahr. Hier scheint ein allgemeines Interesse an technologischen Entwicklungen zu bestehen. So beschreibt sich z. B. U2 als „[...] eher der Techniker, komme aus dem Technikbereich. Also technikaffin, definitiv.“ Trotz der technischen Kompetenzen und Affinitäten der befragten Unternehmer\*innen beobachten sie aktuelle technologische Entwicklungen im Smart Energy Bereich nicht gezielt, um diese für das Unternehmen konkret zu nutzen.

### *Wissen*

Die Dimension *Wissen* erfasst, inwiefern die Unternehmer\*innen über konkretes Wissen zu Energie-Einsparungen, Smarten Technologien und Stromzählern verfügen. Auch hier zeigt sich, dass diese Themen nur teilweise präsent sind. Mögliche Einsparpotentiale können nicht quantifiziert werden. Und auch die monatlichen Energiekosten sind den Unternehmer\*innen nicht bekannt. Zwei der befragten Unternehmer\*innen wissen nicht, ob sie einen analogen, digitalen oder gar smarten Stromzähler verbaut haben. Smarte Technologien sind den Unternehmer\*innen „rudimentär“ bekannt, wie ein Interviewter darstellt. Den Unternehmer\*innen wird bei der Befragung die VISE-Übersichtsgrafik zu Smart Energy Technologien vorgelegt, um zu verdeutlichen, was unter Smart Energy-Technologien zu fassen ist. Die Unternehmer\*innen haben von einzelnen Technologien mal gehört, ein genaueres Verständnis oder gar mögliche Potentiale für das eigene Unternehmen sind nicht bekannt. U4 sieht durchaus eine Verbindung von Energieverbräuchen und digitalen Anwendungen. Darüber hinaus hat Digitalisierung auch fernab von Energiethemen eine Relevanz für das Unternehmen, z. B. bei der digitalen Erfassung von Warenströmen, Nutzung digitaler Kassen, Marketing, Inventur. Es wird jedoch betont: „(...) digitale Anwendungen müssen von allen (Mitarbeitern) gepflegt werden“. Darüber hinaus hat U4 bisher keine Erkundigungen zu Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten sowie zu digitalen Anwendungen für Energieeffizienzmaßnahmen eingeholt, betont aber, dass es interessant wäre, etwas darüber zu wissen.

Dass die Unternehmer\*innen weder Energiesparpotentiale noch aktuelle Energiekosten quantifizieren können, verdeutlicht, dass die Annahmen von U1 und U2 darüber, dass es sich nicht lohne, sich mit dem Thema zu beschäftigen, nicht auf der Grundlage durchgeführter Kosten-Nutzen-Kalkulationen beruhen. Die oben aufgeführten individuellen Einstellungen sind folglich nicht auf der Grundlage spezifischeren Wissens entstanden. Vielmehr werden die Energiekosten allgemein derart wahrgenommen, dass sie nicht „weh“ tun (U2), weswegen kein aktives Energiemanagement (in Form von sparsamen Routinen) betrieben wird und keine Investitionen in Energiesparmaßnahmen getätigt werden. U1 verweist in dem Zusammenhang auf die eingangs erwähnte Barriere der Kosten, die damit verbunden sind, sich mit Energiesparthemen und Technologien zu beschäftigen (vgl. Fawcett & Hampton, 2020): „Ich renne nicht rum und spare für 50 Euro im Monat bei einem Unternehmen mit 10 Mitarbeitern, da soll es nicht an 50 Euro hängen. Die Zeit ist wesentlich besser in Projektarbeit gesteckt.“

### *Verhalten*

Die Dimension *Verhalten* erfasst, welches Verhalten die Unternehmer\*innen bei sich selbst einschätzen. Anhand der Einstellungen wird bereits deutlich, dass in den Unternehmen von U1 und U2 kein bewusster Umgang mit Energieverbräuchen gepflegt wird. Sie nennen keine sparsamen Routinen und beobachten eher verbrauchsintensives oder jedenfalls unbewusstes Verhalten bei ihren Mitarbeitenden. Klar ist dementsprechend die Aussage von U1 auf die Frage, ob Effizienzmaßnahmen konkret umgesetzt würden: „Nein, gar nicht.“ Auch bei Kaufentscheidung, z. B. neuer IT, spiele Energieeffizienz laut U2 „keine Rolle.“

U3 spezifiziert hingegen, inwiefern seine Einstellungen, dass Kosteneinsparungen sowie verantwortungsbewusster Umgang mit Energie wichtig seien, das alltägliche Verhalten im Unternehmen beeinflussen: „Wir achten als Geschäftsführer schon darauf, dass vernünftig geheizt wird.“ So auch U4: „Energieeffizienz und Digitalisierung ist Chefsache“. U3 erläutert weiter: „Wir achten auch darauf, dass vernünftig mit dem Thema Energie umgegangen wird. Bei einem Geschäftsführer ist das der Kostenfaktor, bei mir ist es auch der Umweltfaktor. Das liegt aber auch daran, wie ich aufgewachsen bin: Das Licht muss nicht überall brennen, wo gerade niemand ist. Also Energiesparen schon. Digital Energiesparen: so weit sind wir noch nicht.“

Auch eigene Energieerzeugung mit PV-Anlage war für den Unternehmer U3 Thema: „Ich habe mit meinem Vermieter gesprochen, warum man nicht unser Flachdach mit PV-Anlagen bestückt. Klar ist das ein Invest, aber am Ende des Tages ist das einfach nicht genutzte Energie. [...]“. Dabei spielt für U3 primär eine Rolle, dass vorhandene Energie nicht genutzt wird, d. h. seine Umwelteinstellungen sind prioritäre Motivation: „Es ist natürlich schön zu sagen: ‚Ich bin energieautark.‘ Auch da bin ich natürlich Kaufmann, das könnte ich auch nach außen tragen. Das macht man dann auch und das ist natürlich ein Anreiz. Aber noch mal: mich ärgert, dass jeden Tag so viel Energie nicht genutzt wird. Nicht vergeudet, sondern einfach nicht genutzt!“

### **Zwischenfazit**

Zusammenfassend bestätigen die Interviews in der Literatur etablierte zentrale Barrieren für Energieeffizienzmaßnahmen für KMU (vgl. Fawcett & Hampton, 2020). Insbesondere scheinen individuelle Einstellungen der Unternehmer sowohl für das Energiemanagement (d. h. im Kontext von KMU primär alltägliche Routinen) als auch für Einsparmaßnahmen maßgeblich relevant.

Während zwei Unternehmer dem Themenkomplex jegliche Relevanz für ihr Unternehmen absprechen und sich die alltäglichen Routinen im Umgang mit Energie entsprechend darstellen, stellt sich die Situation im dritten und vierten Unternehmen diametral dazu dar.

Könnten Smart Energy Technologien deswegen einen *game changer* darstellen, da sie Routinen überflüssig machen bzw. diese übernehmen? Stellen sie dadurch für solche Unternehmer, die selbst keine energiebewussten Routinen pflegen, eine attraktive Option dar? Die Interviews weisen nicht darauf hin. Obwohl die Unternehmer U1 & U2 Technikaffinität aufweisen, sind Smart Energy Technologien kaum bekannt und werden nicht als relevante Option angesehen. Die Unternehmer U3 und U4 sehen Smart Energy Technologien perspektivisch als Option an: grundsätzlich „[...] bin ich glaube ich im Thema. Aber gerade nicht im Ist-Zustand. Es scheint mir da viel Neues zu geben. Mit 39 Jahren merke ich: ‚ok, ich bin da vielleicht leicht überholt, was das anbelangt.‘ Ich glaube, dass viele nicht wissen, was alles möglich ist. Und auch, wie einfach es sein kann. Weil früher hieß es immer: ‚Du musst Kabel ziehen ohne Ende, um irgendwas zu machen.‘ Aber ich glaube heute ist es viel einfacher, so dass man einfacher steuern kann.“ Allerdings sagt auch U3, dass das Unternehmen noch nicht soweit sei, durch digitale Technologien Energie zu sparen. Auch U4 hat weder Kontakt zu Anwendern oder Anbietern smarterer Technologien aufgenommen, noch wurde eine Energieeffizienzberatung für das Unternehmen in Anspruch genommen. Eine konkrete Planung für den Einsatz von smarten Technologien steht noch aus, es besteht aber ein großes Interesse am Einsatz von Sensoren (selbstständiges Ein- und Ausschalten), vor allem für die Beleuchtung der Warenauslage.

### **2.3.3 Vor-Ort-Begehungen in KMU**

Um das Anwendungs- und Einsatzpotenzial der Technologie-Kategorien aus dem Screening (s. Kapitel 2.1) in der Praxis zu analysieren, wurden Vor-Ort-Begehungen in Unternehmen durchgeführt. Dabei wurde ein branchenoffener Ansatz verfolgt, um zum einen vielfältige Herausforderungen in der praktischen Umsetzung zu bündeln und zum anderen um die diverse Struktur der Unternehmen im KMU-Bereich abzubilden. Die nachfolgende Abbildung (s. Abbildung 15) gibt einen Überblick über die verschiedenen Branchen und zeigt beispielhaft Unternehmen, in denen Vor-Ort-Begehungen durchgeführt worden sind. So wurden kleine Betriebe im verarbeitenden Gewerbe (< 20 Mitarbeitende), Ladenlokale im Einzelhandel (< 5 Mitarbeitende), Unternehmen der Freizeitbranche sowie Museumsbetriebe im Zuge der Vor-Ort-Begehungen analysiert.



Verarbeitendes Gewerbe



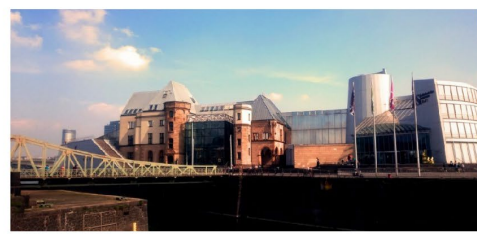
Freizeitbranche



Museumsbetrieb (Odysseum Köln)



Einzelhandel



Museumsbetrieb (Schokoladenmuseum Köln)

Abbildung 15: Branchenüberblick Vor-Ort-Begehungen

Mit dem branchenübergreifenden Ansatz wurde auch das Ziel verfolgt, einen standardisierten Ansatz zur Analyse von KMU zu entwickeln. Im Rahmen der Vor-Ort-Begehungen wurden KMU dazu exemplarisch einer energetischen Analyse unterzogen und hinsichtlich der Einsatzpotenziale smarter Technologien untersucht. Die grundlegende Methodik der Vor-Ort-Begehungen erfolgte in drei Schritten:

- Datenerhebung in Unternehmen
- Datenanalyse und -auswertung
- Entwicklung von Effizienzmaßnahmen und Einsatzpotenzial smarter Technologien

Nachfolgend werden die wesentlichen Erkenntnisse und Eindrücke aus den Vor-Ort-Begehungen dargelegt. Zur Strukturierung der Analysen hat sich bereits zu Beginn gezeigt, dass es sinnvoll ist, die jeweiligen Unternehmen in spezifische Teilbereiche einzuteilen. Dies können beispielsweise einzelne Gebäudeteile mit bestimmter Nutzungsform wie Büro- oder Verwaltungsgebäude, Showroom und Ausstellungsräume sowie Lager oder Produktionshallen sein. Durch die Bildung dieser Teilbereiche wurde der Prozess der Datenerhebung deutlich vereinfacht und im Rahmen der Analysen entwickelte Effizienzmaßnahmen konnten unmittelbar einzelnen Teilbereichen zugeordnet werden. Zwar spiegeln die durchgeführten Analysen die diverse und komplexe Gebäudestruktur des gewerblich genutzten Gebäudebestands wider, jedoch wurden auch branchenübergreifend übertragbare Eigenschaften zwischen den gebildeten Teilbereichen deutlich. Dies wurde beispielsweise bei kleinen Betrieben im verarbeitenden Gewerbe mit dem Teilbereich „Produktionshalle“ oder für Verwaltungs- und Büro Zwecke genutzte Gebäudeteile deutlich, die branchenübergreifend identifiziert worden sind. In der folgenden Grafik (s. Abbildung 16) wird exemplarisch die Aufteilung eines Unternehmens in spezifische Teilbereiche aufgezeigt.

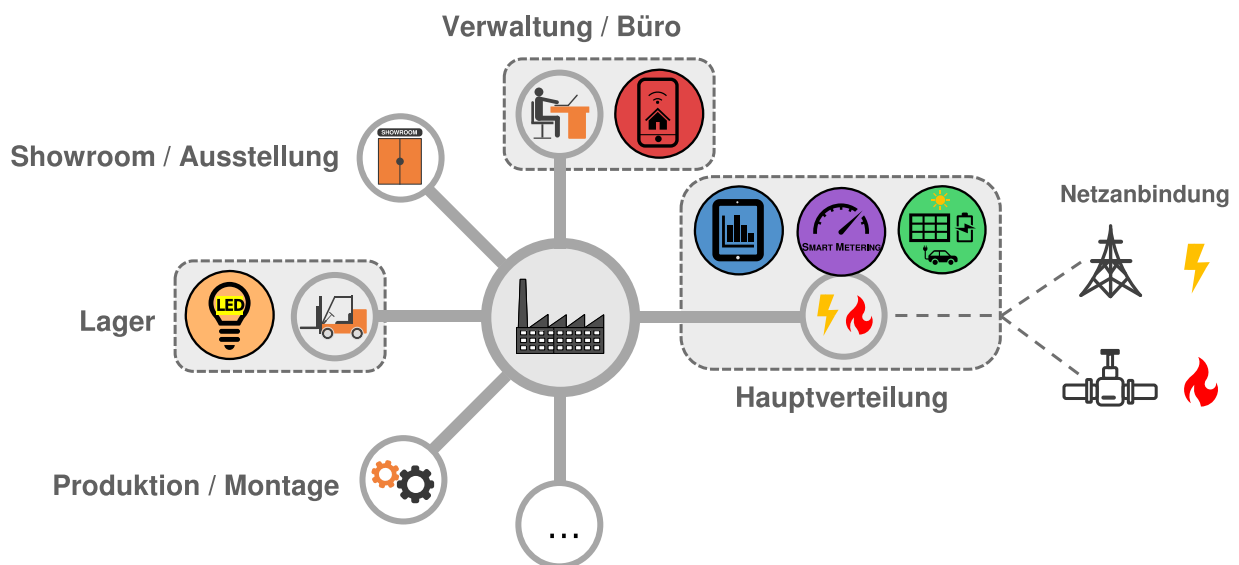


Abbildung 16: Aufteilung von Unternehmen in Teilbereiche und Einsatzpotenziale smarter Technologien

In der Grafik werden darüber hinaus beispielhaft die **Einsatzpotenziale smarter Technologien** anhand von Anwendungsszenarien (s. Technologie-Kategorien, Kapitel 2.1.1) in exemplarischen Teilbereichen eines Unternehmens dargestellt. Im Zuge der Vor-Ort-Begehungen wurden darüber hinaus **Potenzialindikatoren** entwickelt, anhand derer das Einsatzpotenzial der Technologie-Kategorien auf Ebene der Teilbereiche dargelegt werden konnte. Die nachfolgend beschriebenen Anwendungsszenarien zeigen somit das Einsatzpotenzial der Technologie-Kategorien, welches im Zuge der Vor-Ort-Begehungen identifiziert wurde.

Die Betrachtung *intelligenter Beleuchtungssysteme* hat aufgezeigt, dass das Einsatzpotenzial in KMU stark von der Höhe der Betriebsstunden der Beleuchtung in den jeweiligen Teilbereichen abhängig ist. So sind Teilbereiche wie Lagerhallen, in denen die Beleuchtung u. a. durch die Nutzung in unregelmäßigen Zeitintervallen geringe Betriebsstunden aufweisen muss, besonders für sensorgesteuerte Beleuchtungssysteme (Präsenz- und Tageslichtsensor) geeignet. Unter Berücksichtigung der für KMU relevanten Kriterien „Investitionsbereitschaft“ sowie „Kosten-Nutzen-Verhältnis“ wird jedoch deutlich, dass das Potenzial für die Umrüstung von konventioneller Beleuchtung auf LED-Beleuchtung für viele Anwendungsszenarien die sinnvollere Maßnahme darstellt.

Für *funkbasierte* und *leitungsgebundene Gebäudeautomationssysteme* beschränkt sich das Anwendungsszenario auf den Teilbereich Verwaltung bzw. Büro (s. Abbildung 16). Zum einen entspricht die Gebäudestruktur von Büro- und Verwaltungsgebäuden am ehesten der von Wohngebäuden, wo viele dieser Systeme ursprünglich eingesetzt werden. Zum anderen bestehen bei den meisten Systemen hinsichtlich der Steuerbarkeit von Anlagentechnik (z. B. Klimageräten, Maschinen) leistungsbedingte Grenzen, sodass ein Einsatz in anderen Teilbereichen (z. B. Produktionshallen) ausgeschlossen wird. Auch ein in den Teilbereichen übergreifender Einsatz dieser Systeme kommt aufgrund der Begrenzung hinsichtlich Funkreichweite und Komponentenzahl nicht in Frage. Aufgrund der kostenintensiven Nachrüstbarkeit besteht für *leitungsgebundene Gebäudeautomationssysteme* lediglich dann Einsatzpotenzial, wenn bereits busbasierte Systeme im Unternehmen eingesetzt werden. Funkbasierte Systeme lassen sich hingegen

vergleichsweise einfach nachrüsten und können durch die Ansteuerung der Heizung, der Beleuchtung sowie kleinerer Verbraucher Effizienzpotenziale erschließen.

Die Technologie-Kategorien *Energiemonitoring-Systeme*, *intelligente Messsysteme* sowie *intelligente Energiemanager* werden im Anwendungsszenario dem Teilbereich „Hauptverteilung“ zugeordnet (s. Abbildung 16). In diesem Fall wird der unmittelbare Anschluss des jeweiligen Unternehmens an die vorgelagerten Strom- und Gasversorgungsnetze als „Hauptverteilung“ bezeichnet. *Energiemonitoring-Systeme* kommen hier zum Einsatz um (bspw. für den Energieträger Strom) ausgehend von der Niederspannungshauptverteilung einzelne Teilbereiche in den Unterverteilungen (z. B. Gebäude, Etagen oder Verbrauchergruppen) messtechnisch zu erfassen. Da die Erfassung der Energie- und Lastflüsse zur Analyse von Energiesystemen in Bezug auf quantifizierbare Effizienzpotenziale unerlässlich ist, besteht insbesondere dann ein hohes Einsatzpotenzial für *Energiemonitoring-Systeme*, wenn diese Lastflüsse noch unbekannt sind. Durch die gute Skalierbarkeit ist darüber hinaus der Einsatz kostengünstiger mobiler Messsysteme bis hin zu stationären Systemen möglich. Der Einsatz *intelligenter Messsysteme* wird ebenfalls in der Niederspannungshauptverteilung der Unternehmen verortet. Aufgrund der gesetzlichen Einbaupflicht ist die Anwendung dieser Systeme zukünftig obligatorisch. Die Kategorie der *intelligenten Energiemanager* wird ebenfalls in der Hauptverteilung verortet, da diese Systeme u. a. unmittelbar mit *Energiemonitoring-Systemen* und perspektivisch *intelligenten Messsystemen* verknüpft sein müssen. Das Einsatzpotenzial *intelligenter Energiemanager* sollte in Unternehmen näher betrachtet werden, sofern bereits Erzeugungsanlagen (BHKW, Photovoltaik-Anlage), Energiespeicher (Batterie, Wärme- bzw. Kältespeicher) und entsprechende Messsysteme vorhanden sind.

Weiterhin wurden durch die Vor-Ort-Begehungen auch **Synergien** zwischen klassischen Energieeffizienzmaßnahmen und Maßnahmen mit dem Einsatz smarterer Technologien festgestellt. Die Analysen in den Unternehmen haben aufgezeigt, dass durch eine Kombination der Nutzung smarterer Technologien sowie der Umsetzung klassischer Maßnahmen die Energieeffizienz sowie das Energie- und Lastmanagement in KMU gesteigert werden kann. Sind beispielsweise die Energie- und Lastflüsse im Unternehmen noch unbekannt, können durch den Einsatz von Energiemonitoring-Systemen energieintensive Teilbereiche und Verbrauchergruppen messtechnisch erfasst werden. Dadurch wird eine Grundlage für die Umsetzung klassischer Effizienzmaßnahmen geschaffen, denn die Messung und Analyse von Energie(verbrauchs)daten ist die Basis für die Identifikation von Effizienzpotenzialen und die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen. Ein weiteres Beispiel ist der durch den Rollout verpflichtende Einsatz *intelligenter Messsysteme*, durch die viele KMU mit Stromverbräuchen unter 100.000 kWh erstmals Visualisierungsdienstleistungen über die Smart Meter-Gateway Infrastruktur erhalten. Auch hier wird in vielen Betrieben erstmals Transparenz über Energieverbräuche geschaffen, wodurch wiederum eine Grundlage für die Potenzialermittlung und Maßnahmenumsetzung entsteht.

Übergreifend wurde durch die Vor-Ort-Begehungen deutlich, dass smarte Technologien noch nicht in KMU angekommen sind. Der Blick in die Praxis hat aufgezeigt, dass häufig konventionelle Effizienzmaßnahmen wie die Umrüstung auf LED-Beleuchtung noch nicht umgesetzt wurden. Die Energie- und Lastflüsse sind meist unbekannt, die zur Energietransparenz notwendige Messtechnik ist nicht vorhanden und Verbrauchsdaten des Energielieferanten werden nicht ana-

lysiert. Dementsprechend hoch sind die Effizienzpotenziale, die es in den betrachteten Unternehmen noch zu erschließen gilt. Diese Erkenntnisse verdeutlichen umso mehr, dass insbesondere für **KMU eine geringe Investitionsbereitschaft in smarte Technologien** besteht. Daher müssen Maßnahmen basierend auf dem Einsatz smarterer Technologien wichtige KMU-Kriterien wie einer einfachen Nachrüstbarkeit, einem geringen Installationsaufwand und einem guten Kosten-Nutzen-Verhältnis entsprechen. Erst unter Berücksichtigung dieser Aspekte werden Investitionen in smarte Technologien für Unternehmer\*innen attraktiv.

## 2.4 Quantitative sozio-ökonomische Nutzeranalyse

In den in diesem Abschnitt beschriebenen Arbeiten wurden das Interesse an Smart Energy Produkten in Unternehmen ((1), Kapitel 2.4.1), die Digitalisierung (im Bereich Energie) der Unternehmen in NRW ((2), Kapitel 2.4.2) und die Determinanten der regionalen Digitalisierung mit besonderem Bezug auf Energiefragen quantitativ analysiert ((3), Kapitel 2.4.3).

Zu (1) wurden die Daten eines Experiments ausgewertet, das auf der Homepage eines Energieanbieters implementiert wurde und sich an eher große Kund\*innen des Anbieters gewendet hat. Dabei geht die Arbeit davon aus, dass es sich bei diesen ‚größeren‘ Kund\*innen tendenziell um kleine, mittlere und große Unternehmen handelt, um zu erforschen, welche Argumente solche Kunden\*innen dazu bringen sich *tatsächlich* für Smart Energy Produkte zu interessieren. Es wurde gefunden, dass sie sich eher für einen Smart Meter interessieren, wenn sie erfahren, dass er es ihnen ermöglichen könnte Geld zu sparen.

In (2) wurde zusammen mit einem Marktforschungsunternehmen ein repräsentatives Sample der Menschen in NRW befragt. Ziel der Studie war es anhand der Einschätzungen der Mitarbeiter\*innen zum Ausmaß der Digitalisierung ihres Arbeitgebers Rückschlüsse auf die tatsächliche Digitalisierung der Unternehmen/Arbeitgeber in NRW in Abhängigkeit der jeweiligen Branche, der Anzahl der Mitarbeiter\*innen oder der Region zu ziehen. Besonderer Fokus lag dabei auf der Digitalisierung des Energiebereiches der Unternehmen sowie auf den Energiekosten. Die Ergebnisse zeigen, dass festzustellen ist, dass die Digitalisierung im Bereich Energie in den Unternehmen in großen Teilen noch nicht weit fortgeschritten scheint, aber häufig sehr zielgerichtet erfolgt.

In (3) wurden ähnliche Zusammenhänge auf der Makroebene analysiert. Dazu wurden zunächst sektorale Unterschiede in der Digitalisierung mit der Produktivität der Stromnutzung kombiniert. Außerdem wurde die regionale Variation in der allgemeinen Digitalisierung auf Landkreisebene identifiziert und in Zusammenhang mit Eigenschaften der jeweiligen Region gebracht. Ziel war es, zum Beispiel das Vorhandensein von Energieversorgern in der Region und die Produktivität der Stromnutzung zu verstehen und herauszufinden, wie diese Faktoren mit der Digitalisierung der Region zusammenhängen.

Insgesamt verdeutlicht dieser Abschnitt die Relevanz verschiedener Faktoren für die Digitalisierung von Unternehmen (im Bereich Energie). Insbesondere zeigt sich, dass wirtschaftliche Argumente zentral sind, um Unternehmen von der Digitalisierung der Energiewende zu überzeugen. Dies zeigt sich zum einen im Experiment, aber auch in der Bevölkerungsbefragung. Die relativ geringe Digitalisierung von Gegenden mit starkem Energie-Fokus zeigt darüber hinaus, dass hier noch Potenziale vorhanden sein könnten.

### 2.4.1 Experimentelle Variation der Argumente zur Nutzung eines Smart Meters<sup>6</sup>

**Einordnung.** Die Digitalisierung ist eine der wichtigsten Entwicklungen für die Wirtschaft der Zukunft. Doch während die Digitalisierung viele Chancen bietet, sind Kund\*innen oft zurückhaltend, desinteressiert oder sogar misstrauisch, wenn es um die Nutzung digitaler Technologien geht. Dadurch wird die Verbreitung des technologischen Fortschritts gebremst und viele Chancen bleiben ungenutzt.

Auch für den Energiemarkt wird die Digitalisierung große Umwälzungen mit sich bringen, da zukünftige Energiesysteme vollständig in "Smart Grids" verbunden sein werden. Eine notwendige Voraussetzung für das Smart Grid ist jedoch die Annahme entsprechender Technologien durch die Endverbraucher. Mittelfristig müssen alle Endverbraucher\*innen mit intelligenten Mess- und Kommunikationsgeräten (d. h. Smart Meter) ausgestattet werden, die es den Energieversorgern ermöglichen, ständig Informationen über den Energiebedarf auf Kundenebene zu empfangen und zu verarbeiten und mit den Kunden zu interagieren.

Derartige Smart Grids werden als potentiell wertvoller Beitrag zur Nachfragesteuerung gesehen, da sie zum einen eine höhere Flexibilität durch verbesserte Informationen und zum anderen wirtschaftliche Innovationen wie dynamische Energiebepreisungsmodelle ermöglichen. Dadurch unterstützen sie die Einbeziehung volatiler erneuerbarer Energien in den Energiemix und können darüber hinaus durch präzise Informationen über die genauen Verursacher des Energieverbrauchs im Haushalt stärkere Verhaltensreaktionen zur Sicherung von Energieeinsparungen bei den Kund\*innen ermöglichen.

Trotz dieser Vorteile zögern viele Verbraucher\*innen bei ihrer Entscheidung für ein Upgrade auf intelligente Technologien. Argumente, die von Kund\*innen häufig gegen den Einsatz von Smart Metern vorgebracht werden, sind ihr Wunsch nach Informationsselbstbestimmung und ihr mangelndes Wissen über die Vorteile der Technologien (Buchanan et al., 2016). Um die Vorteile digitaler Innovationen nutzen zu können, erscheint es wünschenswert Wissen über die Motive der Menschen zu erlangen, die neuen Technologien auch tatsächlich anzunehmen.

Bislang ist die Literatur zum Kund\*inneninteresse an intelligenten Zählern häufig korrelativer Natur, befasst sich hauptsächlich mit kleinen Haushaltskunden und basiert oft auf (hypothetischen) Umfragen. Kausale Hinweise, die auf (Feld-)Experimenten mit echtem Verhalten basieren, fehlen weitgehend. Die Arbeit, die in diesem Abschnitt dargestellt wird, zielt darauf ab, diese Lücke zu schließen.

Im Großen und Ganzen deutet die bisherige wissenschaftliche Literatur zum Thema „Interesse an Smart Metern“ darauf hin, dass sowohl ökologische als auch ökonomische Gründe für die Akzeptanz von digitalen Technologien wichtig sein können, je nach spezifischem Kontext. Auch die Bedeutung von nicht-monetären Motiven bei energiebezogenen Entscheidungen werden häufig hervorgehoben (siehe (Chou & Yutami, 2014) für eine Übersicht).

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag zur Debatte geleistet werden, indem Determinanten analysiert werden, die möglicherweise mit dem Interesse größerer Energiekunden an intelligenten Zählern verbunden sind. Da dabei echte Entscheidungen zur Beschaffung von Informationen

---

<sup>6</sup> Diese Arbeit wurde gemeinsam mit Sebastian Berger und Annika Wyss von der Universität Bern und Felix Ebeling von der Universität zu Köln erarbeitet. Es ist als Berger et al. (2022) veröffentlicht.

zu Smart Metern beobachtet werden, kann das *tatsächliche* Interesse und nicht nur die Antworten auf hypothetische Fragen analysiert werden, und zwar in einer natürlichen Umgebung für die entsprechende Entscheidung. Das hat den Vorteil, dass soziale Erwünschtheit und ähnliche Effekte hier keine Rolle spielen können.

In der Studie konnten Belege dafür gefunden werden, dass insbesondere finanzielle Anreize das Interesse an Smart Metern wecken. Die Betonung möglicher Umwelteffekte, technologischer Fortschrittlichkeit oder rechtlicher Verpflichtung in der Zukunft waren mit geringeren Effekten verbunden.

**Feldexperiment mit Stromanbieter.** Das Feldexperiment untersuchte die Wirksamkeit verschiedener Formen der Bewerbung der Technologie auf die Bereitschaft der Verbraucher, sich Informationen zu Smart Metern als PDF schicken zu lassen. Diese Entscheidung kann als gezeigtes Interesse an der Technologie interpretiert werden. Das Experiment wurde in die Homepage eines Energieversorgers eingebettet und die Variationen wurden auf den Seiten des privaten Kund\*innenkontos angezeigt. Hier konnten sich Kund\*innen einloggen, um beispielsweise ihre monatliche Vorauszahlung anzupassen oder um Zahlungen, persönliche Informationen oder andere administrative Angelegenheiten zu verwalten. In diesem Kontext wurden sie mit einer der experimentellen Variationen konfrontiert.

Das Experiment lief über einen Zeitraum von insgesamt sieben Wochen. Die Stichprobe der Energieverbraucher\*innen bestand aus großen Haushalten und kleinen bis mittleren Firmen mit mehr als 6.000 kWh Stromverbrauch im Vorjahr, die noch nicht mit einem Smart Meter ausgestattet waren. Alle Teilnehmer\*innen traten auf natürliche Weise in das Experiment ein, also ohne Aufforderung zur Teilnahme an einer Studie.

Insgesamt nahmen 4.147 Kund\*innen am Experiment teil und es wurden fünf verschiedene Bewerbungsformen (Framings) für die Smart Meter Technologie genutzt. Die Kund\*innen wurden zufällig in Abhängigkeit ihrer Kund\*innenummer mit einem dieser Framings konfrontiert. Auf diese Weise konnte durch das Experiment der kausale Effekt der jeweiligen Bewerbungsform gemessen werden, da die Randomisierung andere, möglicherweise auch relevante, Faktoren (z. B. grundsätzliches Interesse an intelligenten Zählern, Wissen über die Technologie, usw.) aufhebt. Als Frames wurde ein Spar-Framing („Strom sparen“), um an grundlegende ökonomische Anreize zu appellieren, ein Umwelt-Framing („Gut für die Umwelt“), ein progressivitäts-Framing („Trendig“) und zwei Arten von gesetzlichen Anforderungs-Framings („Bald Pflicht“), genutzt. Während der Appell an die Ersparnis und damit an das finanzielle Eigeninteresse ökonomischen Grundprinzipien folgt, wurden die anderen Framings ausgewählt, um die Selbstkonzepte bezüglich Umweltfreundlichkeit, Fortschrittlichkeit oder Gesetzesgehorsam zu beeinflussen, die in der bisherigen Literatur zur Technologieadaption als wichtig hervorgehoben wurden.

Die interessierenden Variablen waren das beobachtete Verhalten der Kunden. Konkret wurden mehrere Stufen von „Klicks auf Links“ der Kund\*innen aufgezeichnet sowie ihre abschließende Zustimmung zu einer Anfrage, dass sie ein Informationspaket zu intelligenten Zählern erhalten würden, wenn sie ihre Email-Adresse übermittelten. Dazu konnten die Kund\*innen zunächst direkt auf die Werbung klicken, die je nach Versuchsbedingung die jeweiligen Framings betonte. Sie sah aus wie eine typische Bannerwerbung, die auf Nachrichtenseiten oder Online-Portalen verwendet wird. Auf dem nächsten Bildschirm erhielten die Kund\*innen weitere Informationen

entsprechend ihres Frames und konnten auf einen Button mit der Aufschrift „mehr Informationen“ klicken, der sie zu einem Bildschirm führte, auf dem sie ihre Email-Adresse eingeben und abschicken konnten, um das Informationspaket als PDF zu erhalten. Die Eingabe der Email-Adresse ist die zentrale Variable für die weitere Analyse.

**Ergebnisse.** Insgesamt wurden 4.147 Beobachtungen für das Experiment gesammelt. Die Kund\*innen wurden beim Einloggen in ihr Konto zufällig einem der fünf Frames zugewiesen. Es wurden 875 Beobachtungen im Spar-Frame, 854 im Umwelt-Frame, 841 im progressivitäts-Frame und 793 bzw. 784 in den beiden legal Frames gesammelt (diese wurden für die folgenden Ergebnisse kombiniert). Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse.

Das Verhalten der Kund\*innen auf der Homepage wurde über drei Stufen hinweg beobachtet. In der dritten Spalte der Tabelle (Klicks) ist der Anteil der Kund\*innen dargestellt, die mit dem jeweiligen Treatment konfrontiert wurden und auf die Anzeige geklickt haben. In der vierten Spalte sind die Anteile derjenigen dargestellt, die auch auf „Mehr Informationen“ geklickt haben, nachdem sie mit einer Ausarbeitung bezüglich des jeweiligen Arguments konfrontiert wurden, und in der fünften Spalte sind die Anteile derjenigen, die schließlich ihre Email-Adresse angegeben haben, um weitere Informationen zu erhalten, zu sehen.

Tabelle 1: Ergebnisse

<b>Framing</b>	<b>Anzeigen</b>	<b>Klicks</b>	<b>Mehr Informationen</b>	<b>Bestellung Email</b>
<b>Sparen</b>	875	169 (19,3 %)	131 (15,0 %)	75 (8,6 %)
<b>Umwelt</b>	854	84 (9,8 %)	71 (8,3 %)	36 (4,2 %)
<b>Progressivität</b>	841	100 (11,9 %)	76 (9,0 %)	41 (4,9 %)
<b>Gesetzliche Vorgabe</b>	1.577	255 (16,2 %)	181 (11,5 %)	83 (5,3 %)
<b>Summe</b>	4.147	608 (14,7 %)	459 (11,1 %)	235 (5,7 %)

Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Einsparungen, wenn es um Strategien zur Steigerung des Interesses an Smart Metern bei mittleren und großen Energiekunden geht. Die Wahrscheinlichkeit, dass Kund\*innen überhaupt auf die Anzeige klicken, ist in der Spar-Bedingung mit 19,3 % größer als in der Umwelt-Bedingung (9,8 %,  $p < 0,01$ , zweiseitiger Proportions-test) und der Progressivitäts-Bedingung (11,9 %,  $p < 0,01$ , zweiseitiger Proportionstest). Auch

zeigt sich ein kleiner, aber signifikanter Unterschied zwischen der finanziellen und der rechtlichen Bedingung (16,2 %,  $p < 0,05$ , zweiseitiger Proportionstest).

Darüber hinaus erweist sich auch in Bezug auf die Hauptvariable, dem tatsächlichen Erwerb des Informationspakets durch die Eingabe der Email-Adresse, das Spar-Framing als erfolgreichster Frame. Im entsprechenden Treatment entschieden sich 8,6 % aller Kund\*innen für den Erhalt der Informationen. Dieser Anteil ist signifikant größer als die Anteile in den anderen Bedingungen (4,2 % in Umwelt, 4,9 % in Progressiv, 5,3 % in Recht, mindestens  $p < 0,05$ , zweiseitige Proportionstests). Keine zwei anderen Frames unterscheiden sich signifikant in der Wahrscheinlichkeit, dass Kund\*innen ihre E-Mail-Adresse angeben.

**Zusammenfassung.** Die Ergebnisse dieser Studie belegen die Wirksamkeit eines Spar-Framings in der Bewerbung von intelligenten Zählern bei mittleren und großen Energiekund\*innen. Es wurden damit kausale Hinweise dafür gefunden, dass das Spar-Framing die Wahrscheinlichkeit, dass Kund\*innen Informationen über intelligente Zähler erhalten möchten, fast verdoppelt, verglichen mit Appellen an ein Umwelt-, Progressivitäts- oder ein Rechts-Framing. Somit wurde gezeigt, dass das tatsächliche Verhalten von größeren Kund\*innen stark durch Einsparungen beeinflusst werden kann, während vorherige Studien häufig Argumente hervorgehoben haben, in denen die möglichen Umweltwirkungen betont werden. Dieses Ergebnis hat potentiell wichtige Implikationen dafür, wie die Digitalisierung der Energiewende bei den Endverbraucher\*innen beworben werden sollte.

#### 2.4.2 Repräsentative Befragung der Bevölkerung von NRW

**Einordnung.** In diesem Projektbaustein wurde das Ausmaß der Digitalisierung (im Bereich Energie) der Unternehmen in NRW erforscht. Dazu wurde zusammen mit einem Marktforschungsunternehmen eine Befragung der Bevölkerung in NRW durchgeführt. Ziel war es, durch die Befragung der Arbeitnehmer\*innen zu erfahren, als wie digitalisiert die Unternehmen in NRW empfunden werden und welche ‚Arten‘ von Unternehmen sich in der Digitalisierung insbesondere hervortun. Dazu wurde in einer gemeinsamen Arbeit mehrerer Teilprojekte des VISE eine Befragung von 1.200 Personen zwischen 18 und 65 Jahren entwickelt und durchgeführt, die in Alter, Geschlecht und Region (aufgeteilt in die Bezirke Düsseldorf, Köln, Münster, Detmold, Arnsberg) repräsentativ für das Land NRW sind. Da aufgrund der Zielsetzungen der Befragungen der anderen Teilprojekte auch Personen befragt wurden, die zu dem Zeitpunkt Studierende, Rentner oder arbeitslos/arbeitsuchend waren, reduziert sich die relevante Fallzahl für dieses Projekt, die Mitarbeiter\*innen in Unternehmen, um knapp die Hälfte der insgesamt Befragten, und zwar auf 611. Darüber hinaus wurden aber auch die Einschätzungen der Mitarbeiter\*innen des öffentlichen Diensts zur Digitalisierung und zur Nutzung von Smart Energy Technologien im öffentlichen Dienst gesammelt, um das Ausmaß der Digitalisierung im öffentlichen Dienst mit der Digitalisierung der Unternehmen zu vergleichen. Insgesamt wurden 208 Personen befragt, die im öffentlichen Dienst tätig sind.

Neben den Fragen zur Digitalisierung im Allgemeinen, war ein zentrales Ziel der Befragung die konkreten Gründe für die Nutzung von Smart Energy Technologien im Unternehmen besser zu verstehen, also welchen Wert welche Unternehmen auf die Digitalisierung im Kontext Energie legen und wie dies mit der Digitalisierung in anderen Bereichen des Unternehmens und weiteren Faktoren zusammenhängt. Weitere Faktoren, die relevant für die Digitalisierung sein könnten,

sind die Branche, die Größe und der Umsatz des Unternehmens. Auch die Relevanz der Energiekosten für das Unternehmen werden im Folgenden betrachtet.

Um diesen Fragen anzugehen, wurde ein Teil der gemeinsamen Befragung der VISE-Projekte so aufgesetzt, dass zunächst erfragt wurde, ob die Befragungsteilnehmer\*innen einen Arbeitgeber haben, also arbeitstätig sind, oder ob sie hauptsächlich Studierende, Rentner oder nicht in Anstellung sind. Im Anschluss wurde ihre Funktion bei ihrem Arbeitgeber erfragt, bevor festgestellt wurde, ob die jeweilige Person im öffentlichen Dienst arbeitet oder nicht. Im Anschluss wurden einige Einschätzungen über den Arbeitgeber erhoben. Dies beinhaltet die Branche des Arbeitgebers, die Größe im Sinne der Mitarbeiter\*innenzahl und des Umsatzes sowie die Region in der der Arbeitgeber ansässig ist. Im Anschluss wurden Einschätzungen zur Digitalisierung des Arbeitgebers in verschiedenen ‚Bereichen‘ gesammelt, also darüber, ob die Digitalisierung im jeweiligen Bereich dem Arbeitgeber wichtig oder weniger wichtig ist, oder ob digitale Technologien hier gar keine Verwendung finden. Die ‚Bereiche‘ sind IT-gestützte Arbeitsmittel, mobile Endgeräte beim Arbeitgeber, Software, Algorithmen oder Internetschnittstellen zur IT-basierten Optimierung von Geschäftsprozessen, soziale Netzwerke, digitale Auftragsvergabe, digitale Absatzkanäle, programmgesteuerte Produktionsmittel, Vernetzung und Datenaustausch zwischen Anlagen. Diese Bereiche und die zugehörigen Fragen wurden aus der Unternehmenspanelbefragung (IAB-Betriebspanel) des IAB übernommen (Fischer et al., 2009 u. Ellguth et al., 2014). Im Anschluss wurden Einschätzungen zur relativen Relevanz (relativ zu anderen Arbeitgebern) der Energiekosten beim Arbeitgeber erfragt sowie dazu, wie intensiv der Arbeitgeber Smart Energy Technologien nutzt, ob er im Laufe des letzten Jahres Effizienzmaßnahmen umgesetzt hat und ob die jeweils befragte Person im Vorjahr Schulungen erhalten hat, wie Energie am Arbeitsplatz gespart werden kann.

**Datensatz.** Wie durch die Quotierung festgelegt, besteht der gesamte Datensatz zu 50 % aus Frauen und zu 50 % aus Männern. Die Teilnehmer\*innen sind im Durchschnitt 43 Jahre alt. 29 % der Befragten kommen aus dem Bezirk Düsseldorf, während 25 % aus dem Bezirk Köln, 15 % aus dem Bezirk Münster, 11 % aus dem Bezirk Detmold und 20 % aus dem Bezirk Arnberg stammen. 819 Personen (68 %) sind entweder Angestellte in Vollzeit/Teilzeit oder Selbständige/Kleinunternehmer, während 381 Personen zum Zeitpunkt der Befragung nicht erwerbstätig, in erster Linie Studierende oder Rentner waren. Von den 819 erwerbstätigen Personen arbeiten 208 im öffentlichen Dienst, während 611 Personen nicht im öffentlichen Dienst, also in der Wirtschaft, tätig sind. Von den Personen, die nicht im öffentlichen Dienst tätig sind, arbeiten 127 Personen in Unternehmen mit bis zu 10 Mitarbeiter\*innen, 127 Personen in Unternehmen bis 10 – 50 Mitarbeiter\*innen, 147 Personen in Unternehmen mit 51 - 250 Mitarbeiter\*innen und schließlich 220 Personen in Unternehmen mit ‚Mehr als 250‘ Mitarbeiter\*innen. Von den 819 erwerbstätigen Personen arbeiten die meisten in den Branchen „Handel, Verkehr und Lagerei, Gastgewerbe/Beherbergung und Gastronomie“ (17 %), „Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung, Erziehung und Unterricht, Gesundheits- und Sozialwesen“ (24 %) und „Sonstige Dienstleistungen“ (24 %).

Die zentralen Fragen der Studie waren die nach der Digitalisierung des jeweiligen Unternehmens in den oben genannten 8 Dimensionen. Dazu wurde jeweils die Frage „Was denken Sie: Wie wichtig ist für Ihren Arbeitgeber die Digitalisierung in den folgenden Bereichen?“ auf einer 5-stufigen Skala von ‚Sehr wichtig‘ bis ‚Komplett unwichtig‘ beantwortet. Darüber hinaus konnte

‚Nicht genutzt‘ angekreuzt werden. Für die Analyse dieser Antworten wurden die Unternehmen in solche aufgeteilt, in denen die Digitalisierung in dem jeweiligen Bereich laut den Mitarbeiter\*innen ‚Sehr wichtig‘ oder ‚Wichtig‘ ist und in solche, in denen die Mitarbeiter\*innen äußern, dass die Digitalisierung weniger wichtig ist oder gar nicht genutzt wird.

Die zweite zentrale Frage für die Studie ist folgende: „Wie intensiv nutzt Ihr Arbeitgeber Smarte Technologien im Kontext des Energieverbrauchs? (wie z. B. Energiemonitoring-Systeme, Intelligente Messsysteme, Gebäudeautomation, Intelligente Beleuchtung, Energiemanagement-Technologien)“, die auf einer 5-stufigen Skala zwischen ‚Sehr intensiv‘ und ‚Gar nicht‘ und einer ‚Weiß nicht‘-Kategorie beantwortet werden konnte. Auch hier wird im Folgenden davon ausgegangen, dass insbesondere solche Unternehmen, in denen die Mitarbeiter\*innen diese Frage mit ‚Sehr intensiv‘ oder ‚Intensiv‘ beantwortet haben, sich tatsächlich umfassend mit smarten Technologien im Energiebereich beschäftigen.

**Ergebnisse.** Die Analyse der Daten wurde von dem Ziel geleitet, ein besseres Verständnis für die Determinanten der Digitalisierung des Energiebereiches in den Unternehmen bereitzustellen. Es sollte daher insbesondere der Zusammenhang zwischen Eigenschaften der Unternehmen und der Nutzung von Smart Energy Technologien erarbeitet werden.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass von allen Befragten 17,3 % äußern, dass ihr Arbeitgeber Smarte Technologien im Kontext des Energieverbrauchs „Sehr intensiv“ oder „Intensiv“ nutzt. Das zeigte zunächst grundsätzlich, dass Smarte Technologien zur Steuerung von Energieflüssen noch viel Luft nach oben haben, da sich die Mehrheit der Unternehmen offenbar noch nicht intensiv damit beschäftigt. Der Anteil der Unternehmen, die Smarte Technologien intensiv nutzen, ist dabei in den verschiedenen Regionen NRWs sehr ähnlich, was zeigt, dass es hier keine großen regionalen Unterschiede gibt. Im Bezirk Düsseldorf ist der Anteil der MitarbeiterInnen, die sagen, dass sich ihre Firma intensiv mit Smart Energy Technologien befasst mit 19,8 % am höchsten – der entsprechende Wert liegt bei 16,6 % im Bezirk Köln, bei 16,8 % im Bezirk Münster, bei 16,0 % im Bezirk Detmold und bei 15,8 % im Bezirk Arnsberg. Auch bei einem Vergleich der Befragten, die im öffentlichen Dienst tätig sind, mit jenen, die nicht im öffentlichen Dienst tätig sind, zeigen sich nur geringe Unterschiede. 14,9 % der Befragten, die im öffentlichen Dienst tätig sind, sagen, dass sich ihr Arbeitgeber ‚Sehr intensiv‘ oder ‚Intensiv‘ mit Smart Energy Technologien befasst. Die entsprechende Zahl liegt mit 18,2 % bei den Arbeitgebern, die nicht zum öffentlichen Dienst gehören, nur unwesentlich höher.

Im Gegensatz dazu zeigen sich insbesondere bei der Größe des Arbeitgebers erhebliche Unterschiede in der Nutzung von Smarten Energy Technologien (siehe Abbildung 17). Während nur 4 % der Befragten, die in einem Unternehmen arbeiten, das bis zu 10 MitarbeiterInnen hat, äußern, dass sich ihr Unternehmen intensiv mit Smart Energy Technologien beschäftigt, steigt dieser Wert in den weiteren Größenkategorien substantiell an, und zwar auf 17,1 % bei den Unternehmen mit 10-50 Mitarbeiter\*innen, auf 23,1 % bei den Unternehmen mit 51-250 Mitarbeiter\*innen und auf 23,6 % bei den Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeiter\*innen. Die Relevanz dieses Zusammenhangs zeigt sich auch in einer signifikanten Korrelation zwischen der Größe des Unternehmens und der Nutzung (Spearman,  $p < 0,01$ ). Dieses Ergebnis zeigt, dass insbesondere kleinere Unternehmen bisher nur wenig Nachfrage nach Smart Energy Technologien haben. Das könnte zum Beispiel daran liegen, dass kleine Unternehmen zu wenig Nutzen darin sehen oder dass sie nicht die Kapazitäten haben, um sich mit dem Thema zu beschäftigen

und daher keinen Zugang zu den Technologien haben. Auch das ist ein Hinweis, dass der Ansatz des VISE, diese Technologien kleineren Unternehmen nahe zu bringen sehr vielversprechend sein könnte.

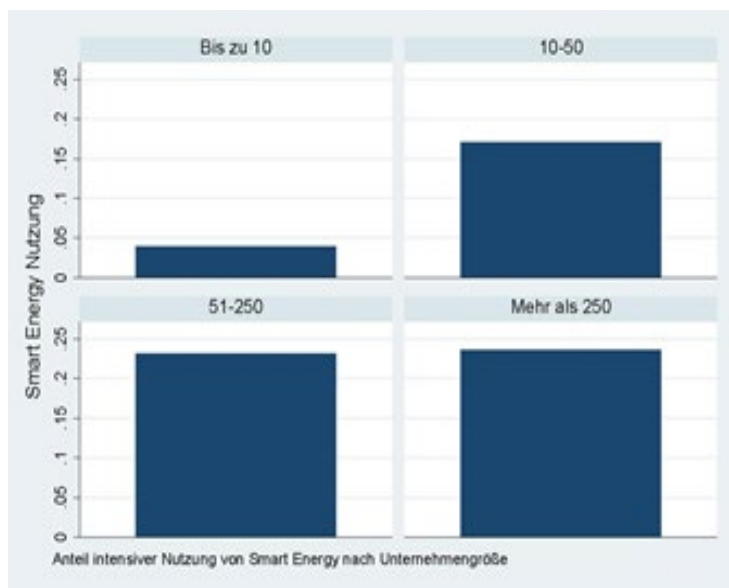


Abbildung 17: Nutzung von Smart Energy Technologien in Abhängigkeit der Größe (Mitarbeiterzahl) des Unternehmens

Ein ähnliches Bild zeigt sich, wenn der Umsatz des Unternehmens betrachtet wird. Während Unternehmen mit einem Umsatz von bis zu 2 mio. Euro nur zu 7,4 % intensiv Smart Energy Produkte nutzen, sind diese Anteile bei den Unternehmen mit einem Umsatz von 2 – 10 mio. Euro (22,1 %), 10 – 50 mio. Euro (25,9 %) und mehr als 50 mio. Euro (24,1 %) deutlich höher. Auch die Korrelation zwischen dem Umsatz des Unternehmens und der Nutzung von Smart Energy Technologien ist signifikant (Spearman,  $p < 0.01$ ). Wiederum zeigt sich, dass insbesondere Unternehmen, die die entsprechenden personellen und finanziellen Ressourcen aufweisen, sich mit modernen Technologien beschäftigen können.

Bei der Analyse der verschiedenen Branchen reicht die gesammelte Fallzahl aus der Befragung nicht aus, um über alle Branchen hinweg belastbare Aussagen zu machen. Daher werden im Folgenden Branchen fokussiert, bei denen mindestens 20 Befragte an der Umfrage teilgenommen haben. Hier zeigt sich, dass insbesondere die Branchen „Verarbeitendes Gewerbe“ (22,4 %), „Baugewerbe“ (25,0 %) und Banken/Versicherungen (30,0 %) sich relativ intensiv mit Smart Energy Technologien beschäftigen, wohingegen „Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung, Erziehung und Unterricht, Gesundheits- und Sozialwesen“ (6,6 %), „Freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleistungen sowie sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen“ (15,9 %) und „Sonstige Dienstleistungen“ (13,8 %), weniger auf Smart Energy Technologien zurückgreifen. Somit zeigt sich, dass vermutlich eher jene Unternehmen Smart Energy Technologien nutzen, die auch einen höheren Verbrauch an Energie haben.

Diese zielgerichtete Nutzung von Smart Energy Produkten zeigt sich auch bei der Einschätzung dazu, als wie relevant die Befragten die Energiekosten im eigenen Unternehmen erachten und der entsprechende Zusammenhang mit der Nutzung von Smart Energy Produkten. Während Unternehmen, in denen die Energiekosten „Viel relevanter“ als in anderen Unternehmen sind, zu mehr als 50 % Smart Energy Produkte nutzen, ist der entsprechende Anteil bei Unternehmen

bei denen die Energiekosten weniger relevant sind sehr viel geringer (s. Abbildung 18) – während keines der Unternehmen Smart Energy Produkte nutzt, bei denen die Energiekosten als sehr wenig relevant wahrgenommen werden, ist der Anteil auch in den Kategorien „Eher weniger relevant“ (2,53 %) und bei „ähnlich“ (10,3 %) sehr viel geringer als bei den Unternehmen für die Energie ein wichtiges Thema ist.

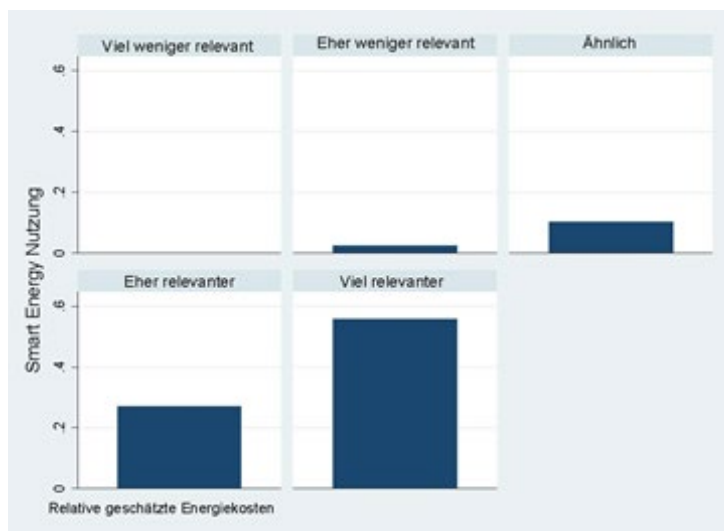


Abbildung 18: Nutzung von Smart Energy Technologien in Abhängigkeit der Relevanz der Energiekosten im Unternehmen

Unabhängig von den subjektiven Einschätzungen der Mitarbeiter\*innen zur Relevanz der Energiekosten, konnte dieser Zusammenhang auch bestätigt werden, wenn analysiert wird, wie hoch der Anteil der Firmen ist, die sich intensiv mit Smart Energy Technologien beschäftigen und deren Mitarbeiter\*innen im Vorjahr Tipps oder Schulungen dazu erhalten haben, wie Energie am Arbeitsplatz gespart werden kann. Firmen, in denen die Mitarbeiter\*innen solche Tipps und Schulungen erhalten haben, nutzen zu 47,2 % intensiv Smart Energy Technologien. Dieser Anteil ist mit 10,9 % in den Firmen, in denen die Mitarbeiter\*innen keine derartigen Tipps und Schulungen erhalten haben, sehr viel geringer. Auch dies zeigt, dass die Relevanz von Energie im Unternehmen einen großen Einfluss auf die Smart Energy Nutzung hat. Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn die Firmen, in denen im Vorjahr Effizienzmaßnahmen durchgeführt wurden, mit jenen verglichen werden, die keine Effizienzmaßnahmen durchgeführt haben. Wiederum wird deutlich, dass Firmen, in denen Effizienzmaßnahmen durchgeführt wurden, sehr viel eher auch Smart Energy Produkte nutzen (38,7 %) als Firmen, die keine Effizienzmaßnahmen durchgeführt haben (6,4 %). Alle genannten Zusammenhänge sind statisch signifikant (Spearman,  $p < 0,01$ , in jedem der genannten Fälle).

Zuletzt wird ein möglicher Zusammenhang zwischen der Digitalisierung eines Unternehmens im Allgemeinen, also in allen weiteren oben genannten Bereichen, und der Nutzung von Smart Energy Technologien, erarbeitet. Dazu wird eine Variable „Digitalisierung“ konstruiert, die alle Bereiche zusammenzählt, in denen die Digitalisierung für das Unternehmen in den Augen der Befragten ‚Sehr wichtig‘ oder ‚Wichtig‘ ist. Daraus ergibt sich eine Variable mit den Ausprägungen 0-8, je nach Anzahl der besonders digitalisierten Bereiche. Es zeigt sich eine positive Korrelation zwischen dieser ‚allgemeinen Digitalisierung‘ des Unternehmens und der Nutzung von Smart Energy Technologien (Spearman,  $p < 0.01$ ). Diese Variable korreliert darüber hinaus mit der

Größe des Unternehmens (Spearman,  $p < 0.01$ ) und dem Umsatz (Spearman,  $p < 0.01$ ). Es wird somit deutlich, dass Unternehmen, die insgesamt eher digitalisiert sind, auch eher Smart Energy Technologien nutzen, größer sind und mehr Umsatz generieren.

Aufgrund dieser sehr ähnlichen Zusammenhänge zwischen der Digitalisierung im Allgemeinen und den Eigenschaften des Unternehmens sowie der Nutzung von Smart Energy Technologien im Speziellen und den Eigenschaften des Unternehmens, stellt sich die Frage, ob die Nutzung von Smart Energy Technologien eher direkt aus der Digitalisierung des Unternehmens folgt, also dass Unternehmen, die insgesamt digitalisierter sind, auch eher Smart Energy Technologien nutzen, oder ob die Technologien tatsächlich, wie oben vermutet, zielgerichtet eingesetzt werden. Um entsprechende Hinweise zu generieren, wurde eine OLS-Regressionsanalyse verwendet, in der die Nutzung von Smart Energy Technologien sowohl auf die geschätzte Relevanz der Energiekosten als auch auf den beschriebenen Digitalisierungsindex regressiert wurde, um zu erfahren, ob die Faktoren unabhängig voneinander einen Einfluss auf die abhängige Variable ‚Nutzung von Smart Energy Technologien‘ haben. Es stellt sich heraus, dass sowohl der Digitalisierungsindex als auch die Energiekosten hoch signifikante Effekte darauf haben, dass ein Unternehmen zu jenen zählt, die Smart Energy Technologien intensiv nutzen. Diese signifikanten Effekte bleiben darüber hinaus bestehen, wenn für die Größe und den Umsatz des Unternehmens in den Regressionen kontrolliert wird. Das deutet darauf hin, dass Unternehmen, die eine grundsätzliche Affinität für Digitalisierung haben, auch eher im Kontext Smart Energy digitalisiert sind. Darüber hinaus zeigt sich aber, dass die Digitalisierung im Bereich Energie auch zielgerichtet erfolgt, in dem Sinne, als dass insbesondere Unternehmen Smart Energy Technologien nutzen, die hohe Energiekosten haben.

**Zusammenfassung.** In diesem Teil des Berichts wurde eine Studie beschrieben für die eine repräsentative Befragung in der Bevölkerung in NRW durchgeführt wurde. Ziel war es zu erfahren, welche Unternehmen in den Augen der Befragten im Allgemeinen besonders digitalisiert sind und im Speziellen Smart Energy Technologien nutzen. Es zeigte sich, dass eher große Unternehmen und Unternehmen mit hohem Umsatz die Technologien nutzen, während sich regional und im Vergleich von öffentlichem Dienst und Wirtschaft nur geringe Unterschiede zeigten. Darüber hinaus wurde deutlich, dass die Relevanz der Energiekosten zentral für die Nutzung von Smart Energy Technologien ist, und zwar unabhängig von der Digitalisierung in anderen Bereichen, der Größe und dem Umsatz des Unternehmens. Das zeigt, dass Smart Energy Technologien zwar noch keine große Verbreitung gefunden haben, jedoch sehr zielgerichtet eingesetzt werden.

### **2.4.3 Beobachtungsdaten auf der Makroebene und regionale Digitalisierung der KMU**

**Einordnung.** Für den dritten Teil dieses Abschnitts wurden statt Experimental- und Befragungsdaten, Makro- und Regionaldaten verwendet. Im Unterschied zum vorherigen Abschnitt hängen die folgenden Analysen daher nicht ausschließlich von subjektiven Einschätzungen ab, sondern verbinden Befragungsdaten zu sektoralen und regionalen Unterschieden im Grad der Digitalisierung mit Daten der amtlichen Statistik. Dadurch können Rückschlüsse auf den Zusammenhang von verschiedenen sektoralen und regionalen Faktoren und dem Ausmaß der Unterschiede in der Digitalisierung gezogen werden. Dazu wurden zwei Indices verwendet, die die Digitalisierung von Sektoren und Regionen zu messen versuchen. Das waren zum einen der Wirtschaftsindex

DIGITAL 2018 und der PROGNOSE Digitalisierungskompass. Während der Wirtschaftsindex DIGITAL 2018 verwendet wurde (Weber et al., 2018), um den Grad der Digitalisierung in den verschiedenen Sektoren zu bestimmen, wurde der PROGNOSE Digitalisierungskompass genutzt, um regionale Unterschiede in der Digitalisierung erfassen zu können<sup>7</sup>. Diese Daten wurden zur weiteren Analyse mit Daten der amtlichen Statistik und der Regionalstatistik kombiniert.

**Sektoren und Digitalisierung.** Zunächst wurde geprüft, ob auf aggregierter Ebene ein Zusammenhang zwischen der Digitalisierung in den verschiedenen Sektoren und dem Stromverbrauch pro Bruttowertschöpfung besteht. Dies könnte vermutet werden, wenn auf eine große Relevanz der Stromkosten mit vermehrter Digitalisierung reagiert wird. Dazu wurde zum einen der Wirtschaftsindex DIGITAL 2018 herangezogen und zum anderen für die dort betrachteten elf Sektoren in der amtlichen Statistik die Stromnutzung und die Bruttowertschöpfung in 2017 identifiziert. Um festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen diesen Faktoren besteht, wurde die Korrelation zwischen den beiden Variablen, dem Digitalisierungsindex und dem Stromverbrauch/Bruttowertschöpfung des jeweiligen Sektors, berechnet. Es stellt sich heraus, dass die gesuchte Korrelation nicht signifikant ist. Das zeigt, dass auf dieser Betrachtungsebene kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Digitalisierung des jeweiligen Sektors und dem Stromverbrauch pro Bruttowertschöpfung identifiziert werden kann. Dies könnte darin begründet sein, dass aus der sehr groben Einteilung in Sektoren, wie sie hier vorlag, nur sehr bedingt Rückschlüsse gezogen werden können.

**Regionale Digitalisierung.** Darüber hinaus wurden in Regressionsanalysen die Zusammenhänge zwischen der Digitalisierung einer Region gemäß PROGNOSE Digitalisierungskompass und verschiedenen Eigenschaften der Region betrachtet. Es zeigte sich, dass Regionen in denen die Bevölkerung eher älter ist, weniger digitalisiert sind, während insbesondere Regionen mit hohem Bruttoinlandsprodukt und dynamische Gegenden mit vielen Gewerbeanmeldungen besonders digitalisiert sind. Keine klaren Effekte ließen sich aus der Anzahl oder dem Anteil an kleinen, mittleren und großen Unternehmen schließen. Fragen, die das Ausmaß der Nutzung von Energie und die Präsenz von Unternehmen aus der Energiewirtschaft betreffen, zeigten, dass Gegenden in denen pro Bruttoinlandsprodukt besonders viel Strom verbraucht wird und Gegenden mit vielen Energieversorgungsunternehmen eher weniger digitalisiert sind. Daraus könnte gefolgert werden, dass Energieunternehmen relativ wenig digitalisiert oder eher in Regionen anzutreffen sind, die in der Digitalisierung noch nicht sehr weit fortgeschritten sind. Auch Gegenden, deren BIP-Produktion mit einer intensiven Stromnutzung einhergeht scheinen gemäß der Ergebnisse weniger digitalisiert.

**Zusammenfassung.** Insgesamt sind die Analysen auf der Makroebene weniger klar interpretierbar als die Ergebnisse des Experiments und der Befragung. Es zeigt sich zum Beispiel kein klarer Zusammenhang zwischen sektoraler Digitalisierung und dem Verhältnis von Stromverbrauch und Bruttowertschöpfung. Auch der Effekt der Anzahl beziehungsweise des Anteils kleiner, mittlerer und großer Unternehmen scheint im Vergleich zu den Ergebnissen der Befragung weniger eindeutig. Auf der anderen Seite zeigt sich, dass Gegenden, die einen hohen Anteil an Unternehmen aufweisen, die in der Energieversorgung tätig sind, weniger digitalisiert sind; gleiches gilt für Gegenden in denen viel Strom pro BIP verbraucht wird.

---

<sup>7</sup> Dazu wurden die Daten des Digitalisierungskompasses zusammengestellt (<https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/digitalisierungskompass/>).

### 3 Interdisziplinärer Anwendungstest mit mobiler Messtechnik

Mit der zentralen Zielsetzung, Lösungsansätze für den Einsatz smarterer Technologien in KMU zur Steigerung der Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement zu entwickeln, wurden im Zuge des Forschungsprojekts interdisziplinäre Anwendungstests durchgeführt. Die sozio-technischen Nutzeranalysen in 2018 (s. Kapitel 2) haben deutlich gemacht, dass Energietransparenz einen wichtigen Baustein für die Quantifizierung von Einsparpotenzialen in Unternehmen darstellt. Dies wird auch bei der Betrachtung einschlägiger Fachliteratur deutlich (vgl. (BMW, 2019; Hein et al., 2018)). Mit dem Technologie-Screening als Basis für die Auswahl geeigneter Technologien wurde ein Lösungsansatz zur systematischen und strukturierten Effizienzanalyse von KMU mit Einsatz mobiler Messtechnik entwickelt. Nachfolgend wird insbesondere auf die Methodik und Vorgehensweise während der Anwendungstests eingegangen (Kapitel 3.1) sowie das mobile Messsystem inklusive technischem Equipment vorgestellt (Kapitel 3.2).

#### 3.1 Methodik und Vorgehensweise

Um eine systematische Herangehensweise bei der Durchführung der Anwendungstests in KMU zu gewährleisten, wurde Anfang 2019 ein methodisches Konzept der Inhalte sowie der Vorgehensweise entwickelt. Zur engen Verzahnung der Arbeitspakete wurde auf einschlägige Literatur zu interdisziplinären Meta-Frameworks zurückgegriffen (Cherp et al., 2018). Auf dieser methodischen Grundlage wurde die inhaltlich-strategische Verknüpfung der Arbeitspakete reflektiert und eng aufeinander abgestimmt. Der entwickelte Ansatz ermöglicht die strukturierte und systematische Identifikation des Einsatzpotenzials ausgewählter, smarterer Technologien in KMU. Die nachfolgende Abbildung stellt die Inhalte sowie die Vorgehensweise der in diesem Forschungsprojekt durchgeführten Anwendungstests schematisch dar (s. Abbildung 19).

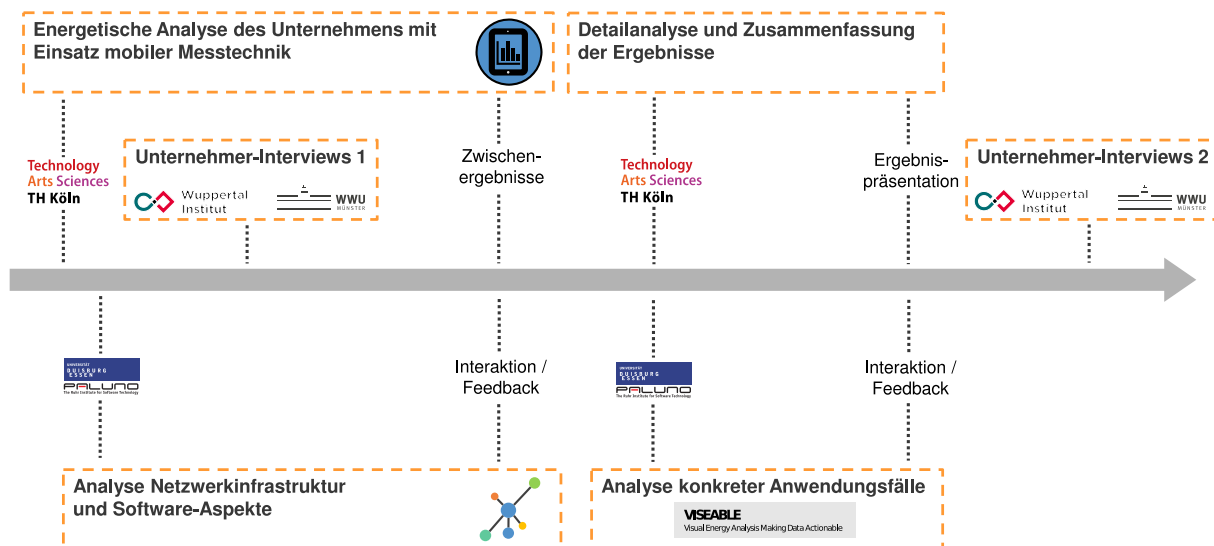


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Inhalte und Vorgehensweise bei interdisziplinären Anwendungstests

An diesem interdisziplinären Ansatz sind alle Projektpartner mit ihren jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellungen beteiligt. So hat die *TH Köln* im Anwendungstest die energetische Analyse

der betrachteten KMU durchgeführt und dazu u. a. ein **mobiles Messsystem** in der Praxis eingesetzt. Das *paluno* der *Universität Duisburg-Essen* übernahm die Analyse der Netzwerkinfrastruktur sowie Software-Aspekte im Unternehmen und entwickelte in diesem Zusammenhang ein webbasiertes Tool zur Energiedatenauswertung und -visualisierung (VISEABLE). Das *Wuppertal Institut* sowie die *WWU Münster* führten im Rahmen der Anwendungstests qualitative Interviews mit Unternehmer\*innen durch. So wurde der Mehrwert und Nutzen des eingesetzten mobilen Messsystems zu Beginn und am Ende der jeweiligen Anwendungstests im Zuge der Unternehmer-Interviews evaluiert.

## 3.2 Vorstellung des mobilen Messsystems

Die energetische Analyse eines Unternehmens, wie unter anderem in der BAFA<sup>8</sup> Energieberatung Mittelstand durchgeführt, umfasst aktuell keinen verpflichtenden Einsatz von Messtechnik zur Identifikation von Effizienzpotenzialen. Der Energieverbrauch kann daher „bei nicht kontinuierlich gemessenen Verbrauchern [...] auch durch nachvollziehbare Hochrechnungen von bestehenden Betriebs- und Leistungsdaten [...] ermittelt werden“ (Umweltbundesamt, 2019). In der Praxis hat sich dadurch gezeigt, dass Energieberater\*innen hauptsächlich aus Zeitmangel meistens keine Messungen des Energieverbrauchs im Rahmen der energetischen Analyse durchführen (Hein et al., 2018).

Der Markt für Energiemonitoring-Systeme reicht von der einfachen mobilen Strommessung bis hin zu stationären energieträgerübergreifenden (Strom, Wärme, Wasser, Temperatur,...) Messdatenerfassung sowie deren Auswertung und Analyse im Kontext von Energiemanagement-Systemen (vgl. Technologie-Screening, Kapitel 2.1). Um in einem ersten Schritt den energetischen Ist-Zustand eines Unternehmens zu bestimmen und Transparenz über die Energie- und Lastflüsse zu schaffen, eignet sich insbesondere der Einsatz mobiler Messtechnik. Diese zeichnet sich vor allem durch die folgenden Eigenschaften aus:

- Einfache Nachrüstbarkeit und geringer Installationsaufwand
- Gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis

Diese Kriterien gehen ebenfalls unmittelbar aus dem Technologie-Screening sowie den Vor-Ort-Begehungen hervor und berücksichtigen insbesondere das Anwendungs- und Einsatzpotenzial in KMU. So eignet sich der Einsatz mobiler Messsysteme insbesondere für kleine Unternehmen, in denen smarte Technologien bisher nicht eingesetzt werden und Energie- und Lastflüsse bisher unbekannt sind. Gerade in diesen Unternehmen macht es zunächst Sinn, quantitative (Mess-)Daten des Energiesystems zu erheben, durch die Analyse dieser Daten einen Überblick über die Energie- und Lastflüsse zu schaffen und auf dieser Basis Einsparpotenziale zu identifizieren und Effizienzmaßnahmen zu entwickeln. Auch die geringe Investitionsbereitschaft von KMU für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (vgl. Kapitel 1) ist ein Grund für die Wahl eines mobilen Messsystems. Diese können ohne Unterbrechung der Strom- und Wärmeverteilung installiert werden und bspw. als Dienstleistung mit vergleichsweise geringem Investitionsaufwand erworben werden<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

<sup>9</sup> Im Vergleich zu anderen smarten Technologien aus dem Technologie-Screening (Kapitel 2.1).

Analog zum Ansatz von *Hein et al. (2018)* wurde der Einsatz des mobilen Messsystems zunächst auf die elektrische Leistungsmessung beschränkt, da der Energieträger Strom für Unternehmen meist den höchsten Anteil an den Energiekosten ausmacht. Das mobile Messsystem ist in seinem Aufbau dennoch flexibel erweiterbar. So können weitere Energieträger (z. B. Wärmemenge) und Zustandsgrößen (z. B. Temperatur) messtechnisch erfasst und analysiert werden. Basierend auf dem Technologie-Screening wurde die im Anwendungstest verwendete Messtechnik nach den folgenden Kriterien ausgewählt (s. Tabelle 2):

Tabelle 2: Kriterien zur Auswahl eines mobilen Messsystems für den Anwendungstest

Kriterium	Erläuterung
Elektrische Leistungsmessung	Der Energieträger Strom macht für Unternehmen meist den höchsten Anteil an den Energiekosten aus. 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 Form einer Kofferlösung an.

Die für den Anwendungstest sinnvollste Lösung bot die Firma *manageE GmbH* mit dem mobilen Messkoffer *me2go* (s. Abbildung 20). Mit diesem Messkoffer ist es möglich, die parallele elektrische Leistungsmessung von bis zu sechs Teilbereichen bzw. Verbrauchern zu realisieren. Dies gewährleistet eine effiziente und schnelle messtechnische Erfassung von Teilbereichen und Verbrauchergruppen, die sich nochmals über die Anzahl der verwendeten Messkoffer erhöhen lässt. Entsprechend der dreiphasigen Messung sind in der nachfolgenden Abbildung insgesamt 18 Messsteckplätze auf dem Messkoffer erkennbar. Die Spannungsversorgung wird über den 400V CEE-Stecker sichergestellt.



Abbildung 20: Mobiles Messsystem me2go der Fa. manageE GmbH in einer laufenden Messung

Die Messung des elektrischen Stroms wird über Klappstromwandler oder Rogowski-Spulen durchgeführt. Bei der Verwendung von Stromwandlern wird durch den Stromfluss im Leiter ein Magnetfeld induziert, welches auf der Sekundärseite wiederum zur Induktion eines zum Leiterstrom proportionalen Stromsignals führt (Hesselbach, 2012). Bei der Verwendung von Rogowski-Spulen wird durch den stromdurchflossenen Leiter eine zum Leiterstrom proportionale Spannung induziert, die als analoges Signal an den Controller weitergeleitet wird. Nachfolgend sind Klappstromwandler und Rogowski-Spulen in der Anwendung dargestellt (s. Abbildung 21).



Abbildung 21: Anwendung von Klappstromwandlern und Rogowski-Spulen in der Praxis

Die analogen Strom- und Spannungswerte werden schließlich an den Controller im Messkoffer übertragen. Dort werden die analogen Messdaten in digitale Daten umgewandelt und über einen Netzwerkzugang (Router mit SIM-Karte befindet sich im Koffer) auf einen Server geladen. Dort sind Zugriff und Monitoring direkt über den Webbrowser möglich, was die Fernüberwachung der Messung ermöglicht. Ausgehend von den Strom- und Spannungsdaten lässt sich für jeden der

18 Messkanäle Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie die Phasenverschiebung ( $\cos(\phi)$ ) berechnen. Die Gesamtleistung der dreiphasigen Unterverteilungen bzw. Verbrauchergruppen ergibt sich durch Aufsummierung der jeweiligen Phasenleistungen für das gewählte Zeitintervall (z. B. 15m).

### 3.3 Entwicklung eines universellen Messkonzepts

Um den Einsatz des mobilen Messsystems von der anfänglichen Messvorbereitung bis hin zur Messdaten-Auswertung systematisch zu strukturieren und zu vereinfachen, wurde im Zuge der durchgeführten Messkampagnen ein universelles Messkonzept entwickelt. Die Vorgehensweise zur Energiedatenerfassung mit der mobilen Messtechnik wird nachfolgend als Ablaufschema dargestellt ist (s. Abbildung 22). Diese Vorgehensweise wird als Baustein der energetischen Analyse von KMU angewandt und nachfolgend methodisch beschrieben.

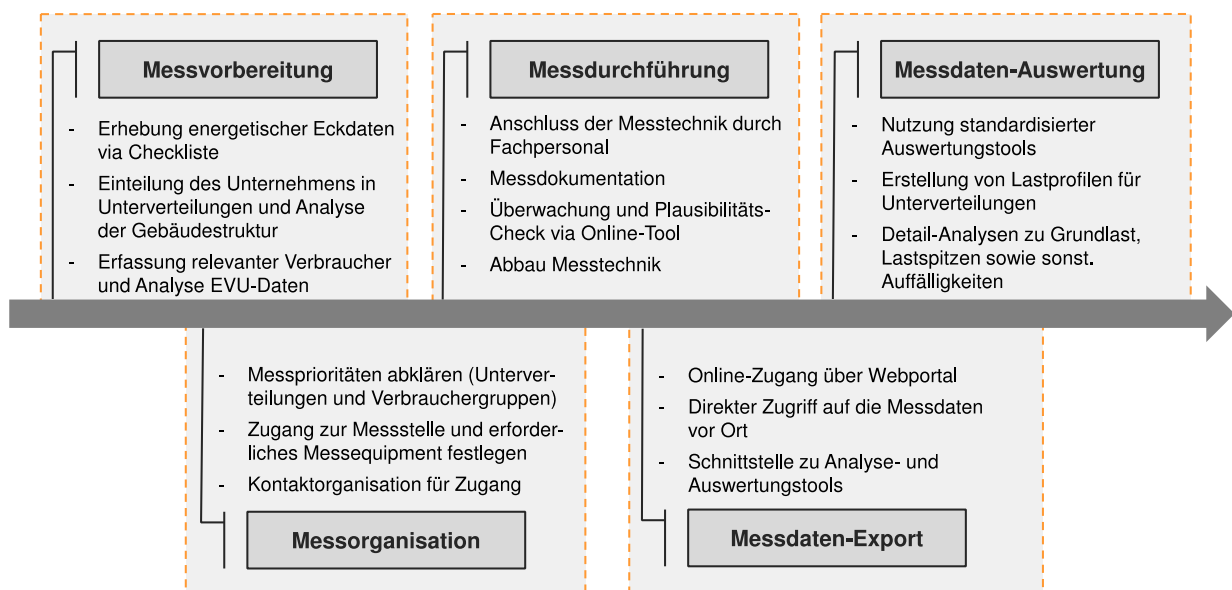


Abbildung 22: Messkonzept zur Energiedatenerfassung und -auswertung mittels mobiler Messtechnik

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 der Messkampagnen, die zur Vereinfachung und Systematisierung der Vorgehensweise geführt haben.

#### 3.3.1 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 bzw. Unterverteilungen als auch die Erfassung wesentlicher Energieträger sowie energetischer Verbraucher geschaffen werden. Mit der Einteilung des Unternehmens in Teilbereiche sowie der Identifikation relevanter Verbrauchergruppen ergeben sich bereits erste Informationen über die Messprioritäten.

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 zur Spannungsversorgung der Messkoffer; kann jedoch durch die Verwendung magnetischer Tastspitzen zur Abnahme der Spannung umgangen werden)
- Signalempfang Mobilfunknetz (zur Fernübertragung der Messdaten)

Anhand der aufgenommenen Daten kann anschließend ein Plan für die durchzuführenden Messungen entwickelt werden. Da ein mobiler Messkoffer auf die parallele Messung von sechs Teilbereichen beschränkt ist, diverse Schaltschränke je nach Größe des Unternehmens aber über mehr als sechs Unterverteilungen verfügen, kann es zu mehreren aufeinanderfolgenden Messungen kommen. Dies lässt sich jedoch durch die parallele Installation mehrerer Messkoffer umgehen. Die **Mindestlaufzeit** einer Messung wurde basierend auf Erfahrungswerten auf **zwei Wochen** festgelegt. Bei zeitlichen Einschränkungen sind gegebenenfalls nicht alle Unterverteilungen messtechnisch erfassbar. Dann sollte die Priorität auf der Messung der Unterverteilungen mit dem höchsten Verbrauch liegen. Nachfolgend wird der Aufbau einer typischen elektrischen Unterverteilung in Unternehmen beispielhaft dargestellt (s. Abbildung 23).

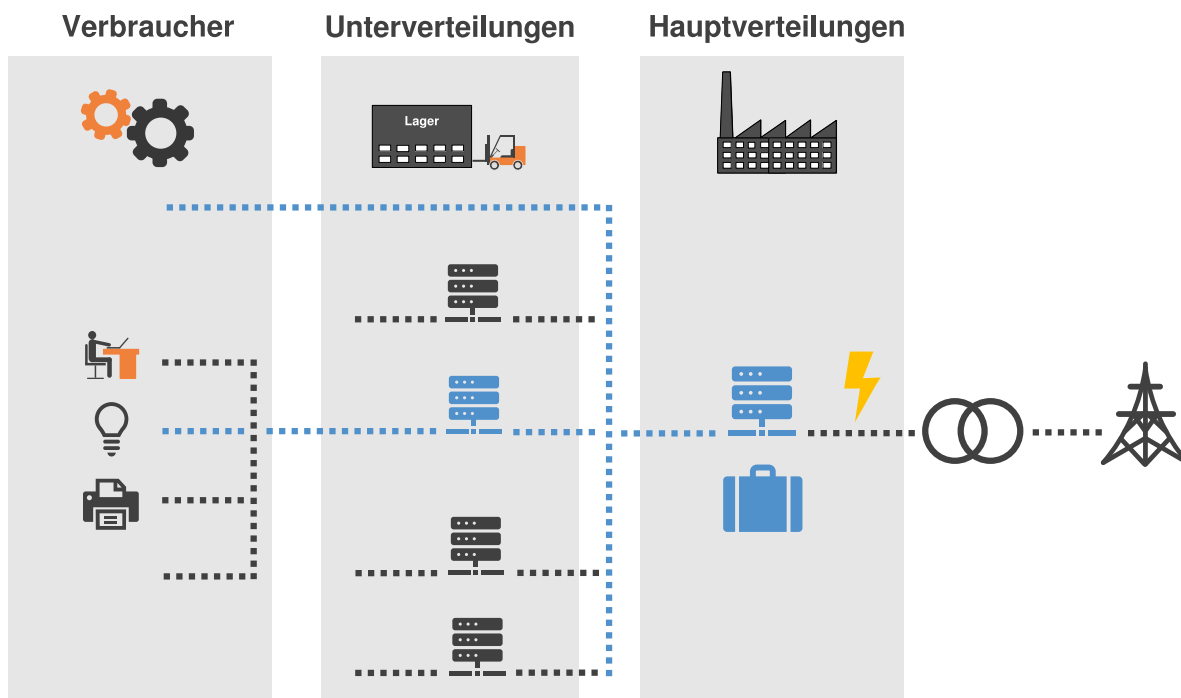


Abbildung 23: Schematische Darstellung der elektrischen Verteilung in Unternehmen mit Einteilung in die Ebenen Hauptverteilungen, Unterverteilungen sowie Verbraucher

Nach dem Anschluss über Transformatoren an das Stromnetz werden zunächst Hauptverteilungen, dann Unterverteilungen und schließlich einzelne Verbraucher(gruppen) mit Strom versorgt. Die Installation der Messtechnik erfolgt in der Regel zunächst in der Niederspannungshauptverteilung (NSHV), da dort sowohl der Gesamtverbrauch als auch die Verbräuche einzelner Unterverteilungen parallel erfasst werden können. Darüber hinaus sind in der Praxis größere Verbrauchergruppen wie Lüftungsanlagen, Kälteanlagen, Aufzüge oder Maschinensysteme unmittelbar an der Hauptverteilung angeschlossen. Unterverteilungen umfassen i. d. R. einzelne Gebäudeteile (z. B. Lagerhallen) oder Etagen bzw. Geschosse innerhalb eines Gebäudes. Die Erstellung des schematischen Aufbaus der elektrischen Verteilung mit Aufnahme der verschiedenen Ebenen und Verbraucher ist insbesondere aus Gründen der Übersichtlichkeit empfehlenswert.

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 Schutzausrüstung für die Installation.

Eine frühzeitige Analyse der Jahres-Lastgangdaten des Energieversorgers (EVU-Daten, sofern vorhanden) in Bezug auf die im Unternehmen anliegende Grundlast, Lastspitzen, saisonale Einflüsse sowie Tages-, Wochen- und Monatsverbräuche liefert einen ersten Überblick über den Stromverbrauch und wird daher empfohlen. Darüber hinaus können auf Basis dieser Analyse Prioritäten für die folgende Messdurchführung entwickelt werden. Für diese Analysen eignen sich insbesondere webbasierte Visualisierungstools wie das im Rahmen dieses Projekts entwickelte Tool VISEABLE.

### 3.3.2 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)* aufgeführt.

Vor der Installation der Messtechnik sind zunächst die für den Verbrauch wesentlichen Unterverteilungen 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“), Unterverteilungen oder Verbrauchergruppen mit hohem Verbrauch und entsprechend hohem Einfluss auf die Energiekosten prioritär messtechnisch erfasst werden. Der Einsatz der Messtechnik in der Praxis hat gezeigt, dass in kleineren Betrieben wie dem Lebensmitteleinzelhandel mit einer Messung (Gesamtstromverbrauch und bis zu fünf Unterverteilungen) bis zu 90% des Gesamtstromverbrauchs lokalisiert werden können.

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

- 1) Der Gesamtstromverbrauch ist nach Möglichkeit parallel mit bis zu fünf Teilbereichen messtechnisch zu erfassen (1. Messung). Bei mehr als einer Hauptverteilung sollte ein

zweiter bzw. dritter Messkoffer hinzugezogen werden, um weitere Hauptverteilungen parallel zu erfassen und aus der Summe den Gesamtstromverbrauch zu berechnen.

- 2) Im Anschluss sind (bei Bedarf) weitere Messungen in den Haupt- bzw. Unterverteilungen einzuplanen, wenn
  - a) noch nicht alle relevanten Unterverteilungen bzw. Verbrauchergruppen messtechnisch erfasst worden sind,
  - b) in der ersten Messung Auffälligkeiten in den Lastprofilen der Unterverteilungen bzw. Verbrauchergruppen (bspw. in Grund- und Spitzenlast) identifiziert worden sind.

Bei der Installation der Messtechnik ist die eindeutige Benennung der Unterverteilungen sowie die Zuordnung von Verbrauchern oder Verbrauchergruppen zur jeweiligen Unterverteilung wichtig. 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 Benennung von Teilbereichen oder Verbrauchergruppen vor. In solchen Fällen sollte mit der Kontaktperson vor Ort Rücksprache gehalten werden.

Nach erfolgreicher Installation der Messtechnik erfolgt unmittelbar sowie nach 12-24h ein Plausibilitätscheck der Messdaten. Dies ist durch den Einsatz des mobilen WLAN-Routers per Fernauslesung möglich. Sollte eine Fernübertragung der Messdaten bspw. aufgrund eines schlechten Mobilfunkempfangs nicht möglich sein, können die Messdaten auch während bzw. nach einer Messung direkt vom Messkoffer bezogen werden. Es bestehen unterschiedliche Zugriffsarten auf die Messdaten, auf die im nachfolgenden Kapitel eingegangen wird.

### 3.3.3 Messdatenexport

Grundsätzlich stehen verschiedene Möglichkeiten für den Zugriff und Export der Messdaten zur Verfügung. Zum einen werden die Messdaten intern im Koffer auf einer SD-Karte abgespeichert. Auf diese Daten kann über die IP-Adresse des Messkoffers zugegriffen werden, sofern man mit dem WLAN des Messkoffers verbunden ist. Darüber hinaus werden die Daten auch online in einer Datenbank gespeichert, auf die über einen SQL-Server zugegriffen werden kann. Einen Überblick über die Zugriffs- und Exportmöglichkeiten liefert die folgende Grafik (s. Abbildung 24).

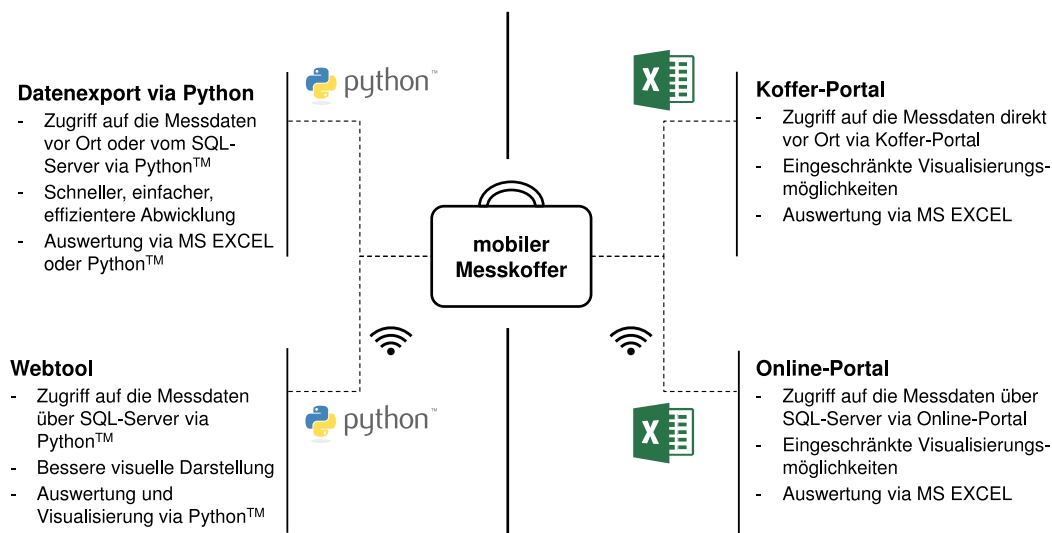


Abbildung 24: Möglichkeiten zum Messdatenzugriff und -export für das eingesetzte mobile Messsystem

Die in Abbildung 24 rechts dargestellten Zugriffsmöglichkeiten werden von der Firma *manageE GmbH* bereitgestellt. Hierbei stehen sowohl Export-Funktionen für die Messdaten als auch einfache Visualisierungsmöglichkeiten (z. B. Lastgänge) zur Verfügung. Die Visualisierungsmöglichkeiten eignen sich gut für den Plausibilitätscheck während einer Messung, sind jedoch für detaillierte Auswertungen und Analysen der Daten weniger geeignet. Daher erfolgt die Visualisierung, Analyse und Auswertung der Messdaten in einem vorgefertigten *MS EXCEL*-basierten Auswertungstool.

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 wurde u. a. als Alternative für den bestehenden Messdatenexport betrachtet. Dazu sind zum einen der direkte Export von Messdaten via *Python™* als auch die automatisierte Auswertung und Visualisierung in einem webbasierten Tool möglich (s. Abbildung 24, 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 webbasierten Visualisierungstool wie *VISEABLE* aufbereitet werden. Die Auswertung in *Python™* hat zudem den Vorteil, größere Datenmengen wesentlich einfacher zu bearbeiten. So können hochaufgelöste Daten in sekundlicher Auflösung deutlich schneller und effizienter als in *MS EXCEL* aufbereitet und analysiert werden.

### 3.3.4 Messdatenauswertung

Nach dem Export der Messdaten liegen diese aufbereitet in Messdatenauswertungstools (*MS EXCEL*, *Python™*) vor. Diese Tools erstellen automatisiert verschiedene Berechnungen und Visualisierungen unter Verwendung der vorliegenden Messdaten. Anhand der Auswertung und Analyse dieser Visualisierungen ist eine schnelle, systematische Identifikation von Einsparpotenzialen möglich. Die Analysen und Auswertungen dieser Messdaten liefern in vielerlei Hinsicht Mehrwerte gegenüber Hochrechnungsverfahren oder Analysen zum Gesamtenergieverbrauch (bspw. über webbasierte Tools wie *VISEABLE*). Die Vorteile der Analyse mobiler Messdaten aus Unterverteilungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Transparenz über die Unterverteilungen und Verbrauchergruppen
- Detailanalysen zu Grundlastverbräuchen
- Detailanalysen zu Lastspitzen
- Benchmarking (Standortübergreifender energetischer Vergleich)

Zunächst wird durch die Analysen der Messdaten Transparenz über die Unterverteilungen und Verbrauchergruppen geschaffen. Dazu werden in den Tools u. a. Lastprofile aller gemessenen Unterverteilungen grafisch dargestellt. Darüber hinaus wird eine Referenzwoche berechnet, in der die durchschnittlichen Verbräuche jeder Unterverteilung bzw. Verbrauchergruppe von Montag bis Sonntag in einer Auflösung von 15 Minuten aufgelistet werden. Dadurch lassen sich weitere Aussagen zur Relevanz der gemessenen Unterverteilungen wie deren jeweilige prozentuale Anteile am Gesamtstromverbrauch erstellen. Auf dieser Basis können die relevantesten Verbraucher(gruppen) im Unternehmen schnell identifiziert werden. Ebenso können diese Verbraucher(gruppen) nun detailliert hinsichtlich möglicher Einsparpotenziale analysiert werden. In der nachfolgenden Abbildung sind beispielhafte Visualisierungen der mobilen Messdaten dargestellt (s. Abbildung 25).

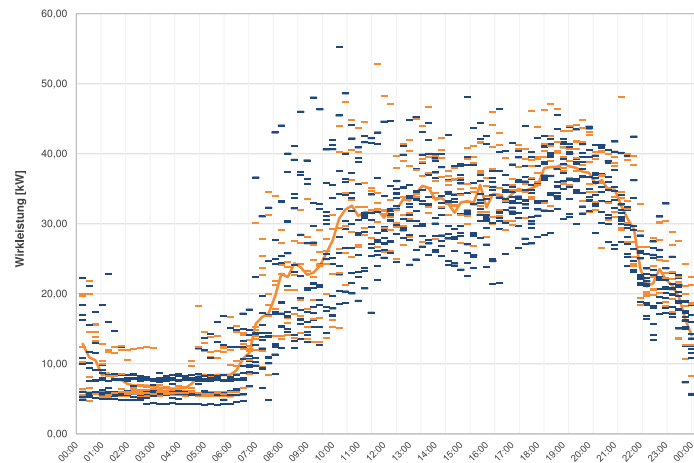
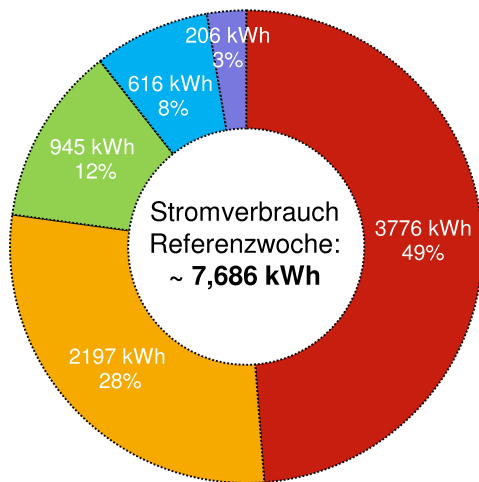


Abbildung 25: Visuelle Auswertung der Messdaten – Darstellung der Anteile der Unterverteilungen am Gesamtstromverbrauch der Referenzwoche (links) und Streugrafik einer Unterverteilung (rechts)

Auf der linken Seite werden die Ergebnisse einer Messung mit fünf Unterverteilungen in Form eines Tortendiagramms dargestellt. Anhand dieser Grafik wird schnell ersichtlich, welche Unterverteilungen bzw. Verbrauchergruppen den Stromverbrauch maßgeblich beeinflussen. Die auf der rechten Seite dargestellte Streugrafik stellt eine gute Grundlage für Detailanalysen zu Grundlastverbräuchen und Lastspitzen dar. Die Grafik stellt die Messdaten aller Messtage von 0-24h für eine Unterverteilung bzw. eine Verbrauchergruppe dar. Gegenüber der Betrachtung des Gesamtstromverbrauchs kann die **Ursache und das Auftreten von Lastspitzen** somit deutlich umfangreicher anhand des Auftretens in Unterverteilungen oder Verbrauchergruppen analysiert werden. Ebenso kann der **durchschnittliche Grundlastverbrauch jeder gemessenen Unterverteilung** ermittelt werden, wodurch der Gesamtgrundlastverbrauch wesentlich detaillierter aufgeschlüsselt werden kann. Maßnahmen zur Senkung von Lastspitzen und Grundlastverbräuchen können nun gezielt spezifischen Teilbereichen bzw. Verbrauchergruppen im Unternehmen zugeordnet werden. So wird für Energieberater\*innen eine bessere Grundlage zur Identifikation von Einsparpotenzialen und für Unternehmer\*innen eine bessere Entscheidungsgrundlage zur Umsetzung von Optimierungen und Energieeffizienzmaßnahmen geschaffen.

Die parallele Messung des Gesamtstromverbrauchs sowie mehrerer Unterverteilungen ermöglicht auch die grafische Darstellung der **Zusammensetzung des Gesamtlastprofils** aufgeschlüsselt nach den gemessenen Unterverteilungen bzw. Verbrauchergruppen (s. Abbildung 26). Durch diese Visualisierung wird schnell ersichtlich, welche Unterverteilungen außerhalb der Betriebszeiten (in diesem Fall sonntags und nachts von 22:00-05:00h) einen maßgeblichen Energieverbrauch aufweisen. Durch Identifikation der Verbraucher der Unterverteilungen kann schließlich ermittelt werden, ob diese tatsächlich außerhalb der Betriebszeiten eingeschaltet sein müssen. In der Reduktion der Grundlastverbräuche liegen hohe Energiekosteneinsparungen.

Ein weiterer Nutzen in der Verwendung mobiler Messtechnik liegt im energetischen Vergleich mehrerer Standorte. So können die mobilen Messdaten auch für **Benchmark-Analysen** verwendet werden und ermöglichen die Bildung von Energiekennzahlen sowie die Durchführung von Regressionsanalysen. Anhand dieser Analysen können beispielsweise Aussagen zur Korrelation des Energieverbrauchs einer Unterverteilung mit Parametern wie der Außentemperatur getroffen werden.

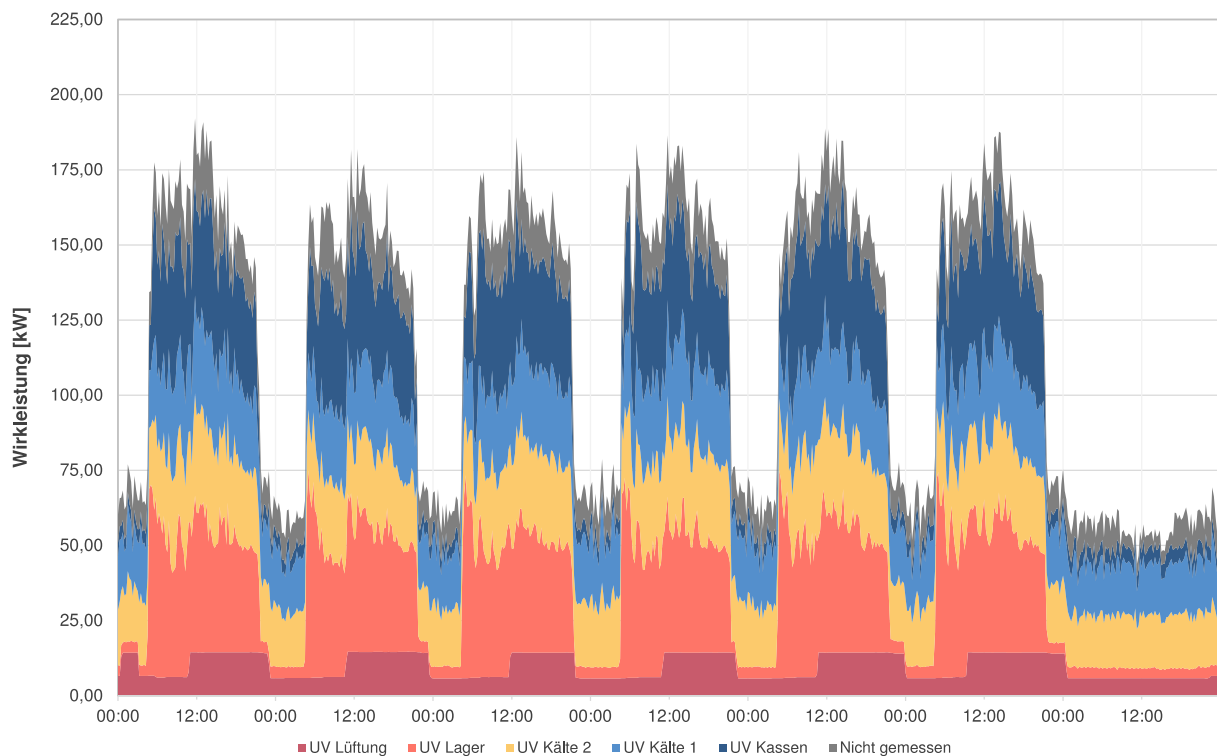


Abbildung 26: Beispielhafte Darstellung einer Referenzwoche (gestapelter Lastgang) aus einer mobilen Messung im Lebensmitteleinzelhandel

Werden in den gemessenen Unterverteilungen auch die jeweiligen Verbraucher identifiziert, wird der Grundlastverbrauch transparent und die Ursache der Entstehung von Lastspitzen nachvollziehbar. Die Identifikation der Grund- oder Spitzenlast verursachenden Verbraucher erfordert jedoch gegebenenfalls weitere Messungen in den Haupt- und Unterverteilungen. So kann sich bei der Identifikation ungewöhnlich hoher Grundlastverbräuche einer Unterverteilung erst durch eine weitere Messung innerhalb der Unterverteilung ergeben, welche Verbraucher tatsächlich für die Grundlast verantwortlich sind.

### 3.3.5 Mehrwert und Nutzen des universellen Messkonzepts

Die Entwicklung eines universellen Messkonzepts hat maßgeblich zur Systematisierung und Vereinfachung der Effizienzanalyse von KMU geführt. Die durchgeführten Kurzzeitmessungen ermöglichen u. a. Detailanalysen zu Grundlast und Lastspitzen bis hin zum Einzelverbraucher. So liefert die Effizienzanalyse mit mobiler Messtechnik eine detailliertere Datengrundlage zur Analyse eines Energiesystems. Während in der klassischen Energieberatung zur Ermittlung der Verbräuche häufig Hochrechnungsverfahren basierend auf Schätzwerten durchgeführt werden, werden durch den Einsatz mobiler Messtechnik quantitative Energiedaten erhoben. Die Erfahrungen aus den Anwendungstests haben deutlich gemacht, dass identifizierte Einsparpotenziale, die mit vor Ort erhobenen Messdaten belegt sind, für Unternehmer\*innen eine deutlich fundiertere Entscheidungsgrundlage für die tatsächliche Umsetzung einer Maßnahme darstellen.

Das beschriebene Messkonzept stellt bereits ein wesentliches Ergebnis der durchgeführten Anwendungstests in KMU dar. So konnte der Gesamtprozess der Effizienzanalyse durch systematische Vor-Ort-Begehungen mit vorgefertigten Checklisten, der Beschränkung der Kurzzeitmessungen auf mindestens zwei Wochen, der strukturierten Datenauswertung mittels vorgefertigter

Tools sowie der Installation mehrerer Messkoffer vereinfacht und hinsichtlich des Zeitaufwands gekürzt werden. Dabei bietet insbesondere die parallele Erfassung mehrerer Unterverteilungen eine effiziente Vorgehensweise, um schnell Transparenz über die Energie- und Lastflüsse des zu analysierenden Energiesystems zu schaffen. In den Messkampagnen wurden bis zu drei Messkoffer parallel installiert, wodurch bis zu 18 dreiphasige Unterverteilungen bzw. Verbrauchergruppen erfasst werden konnten. So konnten die Messkampagnen unabhängig von der Unternehmensgröße durchgeführt werden, was in der Praxis in den Analysen von kleinen Unternehmen mit drei Unterverteilungen bis hin zu größeren Museums- und Freizeitbetrieben mit mehr als 30 Unterverteilungen deutlich wurde. Der Einsatz von Klappstromwandlern und Rogowski-Spulen gewährleistete darüber hinaus eine unterbrechungsfreie Installation der Messtechnik an den Haupt- bzw. Unterverteilungen, wodurch der Installationsaufwand gegenüber der Verwendung von Messwandlern, die eine Unterbrechung der Stromversorgung erfordern, verringert wurde. Der Praxiseinsatz des Messsystems in Unternehmen hat aufgezeigt, dass der Zeitaufwand für die Installation durchschnittlich 2-4 Stunden in Anspruch nimmt<sup>10</sup>.

Ein wesentlicher Mehrwert des universellen Messkonzepts besteht in der Systematisierung und Vereinfachung des Gesamtprozesses. So ist der Einsatz des mobilen Messsystems trotz der heterogenen Branchen und der oft individuellen Gegebenheiten in den untersuchten KMU branchenübergreifend anwendbar. Die Lastprofile der gemessenen Unterverteilungen können auch branchenübergreifend miteinander verglichen werden, was unter anderem auf wiederkehrende, charakteristische Verbrauchsmuster zurückzuführen ist (z. B. in den Lastprofilen der gemessenen Lüftungsanlagen). Dies setzt jedoch die von Beginn an strukturierte Analyse des Unternehmens sowie die systematische Bildung von Unterverteilungen (z. B. Verwaltung, Lager, Produktionshalle) bzw. Verbrauchergruppen (z. B. Lüftungsanlage, Kältetechnik, Beleuchtung) voraus.

### **3.4 Entwicklung der Webanwendung VISEABLE**

Im Zuge des interdisziplinären Anwendungstests sollen in den beteiligten Betrieben energetische Analysen mithilfe von smarten Technologien durchgeführt werden. Von zentraler Bedeutung ist das mobile Messsystem, das für die Erhebung der Energie- und Lastflüsse im Betrieb zuständig ist und in Kapitel 3.2 vorgestellt wurde.

In diesem Abschnitt wird schließlich die Entwicklung der Software beschrieben, die im Anwendungstest neben dem verwendeten mobilen Messsystem zum Einsatz kommen soll. Hierfür werden die Schnittstellen zu den eingesetzten Geräten beleuchtet, die für den Datenaustausch benötigt werden (Kapitel 3.4.1). Es werden mögliche Funktionen der Software diskutiert (Kapitel 3.4.2) und die Architektur erläutert, die im Laufe der Entwicklung konzipiert worden ist (Kapitel 3.4.3 und 3.4.4). Es folgt eine Übersicht über die implementierten Funktionen (Kapitel 3.4.5) und eine Diskussion, wie die Software perspektivisch erweitert werden kann (Kapitel 3.4.6).

#### **3.4.1 Schnittstelle zur mobilen Messtechnik**

Der mobile Messkoffer bietet viele Möglichkeiten, auf die Messdaten zuzugreifen; sowohl für Endanwender als auch für Programmierer. Die erste unmittelbare Quelle ist die Speicherkarte,

---

<sup>10</sup> Schätzung des Zeitaufwands (u. a. abhängig von der Größe der Unternehmen, der Anzahl der zu messenden Unterverteilungen sowie der entsprechenden Anzahl der zu installierenden Messkoffer).

die in dem Messkoffer verbaut ist und auf welcher die Messdaten gespeichert werden. Die Daten liegen in einem binären Format vor, weswegen sie nicht für den Endanwender bestimmt sind, sondern für die weitere Verarbeitung durch Programme. Diese Art der Quelle ist dennoch uninteressant für die Entwicklung der Software, weil die Speicherkarte jedes Mal aus dem Messkoffer entfernt und ausgelesen werden müsste.

Für die weitere Auswertung bietet der Hersteller des Messkoffers eine Plattform an, auf die die Messdaten hochgeladen werden. Auf diese Weise kann online auf die Daten zugegriffen werden. Auf der Weboberfläche lassen sich die Messdaten optisch in Graphen darstellen, um den Stromverbrauch im Laufe der Zeit nachzuvollziehen. Für Endanwender besteht darüber hinaus die Möglichkeit, die Daten als Excel-Tabellen herunterzuladen, um mit ihnen in dieser Form weiterzuarbeiten.

Die Schnittstelle, die für die Entwicklung der Software deutlich interessanter ist, wird von der SQL-Datenbank bereitgestellt, auf die die Daten online geladen werden und die im Hintergrund die Web-Plattform versorgt. Anfragen können feingranular getätigt werden und Schnittstelle wurde gerade für den Austausch zwischen IT-Systemen optimiert.

Ein Nachteil des Datenabrufs an der SQL-Datenbank besteht in der zeitlichen Verzögerung, mit der die Daten vom Messkoffer auf die Plattform hochgeladen werden. Eine durchgehende Internet-Verbindung ist nicht unbedingt sichergestellt. Sollte aber eine zeitnahe oder sogar echtzeitliche Datenübertragung von Bedeutung sein, gibt es dennoch eine Möglichkeit dafür. Der Messkoffer stellt die Messdaten über ein Kommunikationsprotokoll namens Modbus zur Verfügung, auf das in Echtzeit zugegriffen werden kann, sofern man sich im Netzwerk des Messkoffers befindet. Auf diese Weise können Anwendungen realisiert werden, die auf Daten in Echtzeit angewiesen sind.

Zusammengefasst bietet das mobile Messsystem zwei Schnittstellen an, die für die Entwicklung einer Anwendungssoftware interessant sind: SQL und Modbus. Letztere bietet die Möglichkeit, in Echtzeit auf die Messdaten zuzugreifen. Darüber hinaus werden aber keine Metadaten zur Verfügung gestellt. Diese können wiederum von der SQL-Datenbank abgerufen werden, weswegen sie für die meisten Anwendungsfälle die erste Wahl darstellt.

### **3.4.2 Möglicher Anwendungsfall**

Neben den Daten des Messkoffers können auch die Verbrauchsdaten vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) herangezogen werden, um eine energetische Analyse durchzuführen. Der Vorteil besteht darin, dass Daten für ein ganzes bzw. für mehrere Jahre zur Verfügung stehen und mit einer Auflösung von 15 Minuten für die meisten Zwecke auch hinreichend hoch aufgelöst sind. Nachteile sind die verzögerte Verfügbarkeit, da EVU-Daten eigens im Nachgang angefordert werden müssen, und die fehlende Möglichkeit, Energieflüsse in den Unterverteilungen zu erkennen, da nur Daten der Hauptverteilung vorliegen. An diesen Eigenschaften lässt sich feststellen, dass sich die EVU-Daten und die Messdaten des Messkoffers gut ergänzen, weswegen sie beide genutzt werden sollen.

Die in Abschnitt 3.4.1 erwähnte Web-Plattform, auf die die Messdaten hochgeladen werden, bietet die Möglichkeit, die Lastgänge grafisch darzustellen. Die Anwendung lässt aber nur eine tagesweise Darstellung zu und ansonsten existieren auch keine anderen Ansichten auf die Messdaten. Da das Ziel des Anwendungstest die Herstellung von Transparenz über die Energie- und

Lastflüsse ist, soll eine Software entwickelt werden, die die Energiedaten auf verschiedene Arten und Weisen visualisiert, damit sie dem Endnutzer zugänglicher gemacht werden.

Zusammen mit den Partnern der TH Köln wurden erste Ansichten konzipiert, mit denen die Energiedaten zugänglich gemacht werden sollen. Hier spielt nicht nur der rein chronologisch verlaufende Lastgang eine Rolle, sondern auch Lastspitzen oder Aggregationen z. B. auf Wochentagebene. Auch verschiedene Kennzahlen können auf dem ersten Blick wertvolle Informationen liefern.

Die Visualisierungen sollen nicht nur in statischer Form vorliegen, sondern dem Anwender auch Möglichkeiten zur Interaktion bieten. Dies kann bei Graphen bedeuten, dass man zoomen kann, dass man durch das Überfahren mit der Maus weitere Daten angezeigt bekommt oder dass die Darstellungsweise konfiguriert werden kann. So können die Daten noch zugänglicher gemacht werden, weil der Endnutzer genau auswählen kann, was er angezeigt bekommt. Mit den so dargestellten Daten soll der Anwender in die Lage versetzt werden, problematische Verbräuche zu lokalisieren und Potentiale zu entdecken, Energie effizienter und effektiver einzusetzen.

### 3.4.3 Erste Version von VISEABLE

Für die erste Iteration der zu entwickelnden Anwendung wurden einige Anforderungen aufgestellt. Die Anwendung soll möglichst plattformunabhängig sein, dem Nutzer also auf vielen Endgeräten zur Verfügung stehen. Für dieses Ziel bietet sich eine Webanwendung an, da nur ein Browser benötigt wird, um sie zu nutzen. Außerdem soll möglichst schnell ein bedienbares Programm entstehen, ganz im Sinne eines *minimum viable product*. Deswegen wird die Softwarearchitektur simpel gehalten und idealerweise werden nur wenige Komponenten benötigt, die das Programm ausmachen.

Im Wesentlichen ist das Open-Source-Framework *Dash*<sup>11</sup> zum Einsatz gekommen. Dash bindet mehrere Software-Bibliotheken ein, die die verschiedenen Funktionen der Anwendung unterstützen. Die meisten Schnittstellen wurden aber so weit abstrahiert, dass der Entwickler sich nicht mit jedem Software-Paket einzeln auseinandersetzen muss, sondern mit recht wenig Aufwand eine vollständige Anwendung erstellen kann. Vor allem spielt die Bibliothek *Plotly*<sup>12</sup> eine zentrale Rolle, da sie für die interaktive Visualisierung von Daten zuständig ist.

Zugute kommt, dass Dash in Python geschrieben ist, dem Entwickler also das Ökosystem rund um diese Programmiersprache zur Verfügung steht. Insbesondere im Bereich der *Data Science* kommt Python häufig zum Einsatz, weswegen Software-Bibliotheken wie NumPy<sup>13</sup> und Pandas<sup>14</sup> verwendet werden können, die Industriestandard sind und dem Entwickler große Unterstützung bei der Verarbeitung von Daten bieten.

Ein weiterer Vorteil von Dash liegt in der Abstraktion des Frontends, im Grunde also der Benutzeroberfläche. Der Entwickler muss in dieser Hinsicht keine tiefgehenden Kenntnisse mitbringen, sondern kann auf vorhandene Module zurückgreifen, um eine Oberfläche mit dahinterliegender

---

<sup>11</sup> <https://plotly.com/dash/>

<sup>12</sup> <https://plotly.com/javascript/>

<sup>13</sup> <https://numpy.org/>

<sup>14</sup> <https://pandas.pydata.org/>

Anwendungslogik zu erstellen. Unter dem Einsatz von Dash sind die ersten Iterationen der Webanwendung entstanden, die den Namen *VISEABLE* erhalten hat (**VIS**ual **E**nergy **A**nalysis **M**aking **D**ata **A**ctiona**BLE**).

Zusammen mit den Forschungs- und Anwendungspartnern wurden die Iterationen erprobt und dabei wurden Rückmeldungen gesammelt, die in die weitere Entwicklung vor allem von Funktionen geflossen sind. Eine Zusammenstellung der Funktionen erfolgt in Abschnitt 3.4.5.

#### 3.4.4 Neukonzeption der Softwarearchitektur

Im Laufe der Entwicklung wurden nach und nach weitere Funktionen implementiert, gleichzeitig nahm aber die Entwicklungsgeschwindigkeit ab. Dies lag hauptsächlich am starren Aufbau des Frameworks Dash. Um zu gewährleisten, dass weitere Anforderungen auch in späteren Phasen in angemessener Zeit umgesetzt werden können, wurde Dash als zentrales Paket fallengelassen und stattdessen an einer flexibleren Architektur gearbeitet.

Grundlegende Eigenschaften wie die Bedienbarkeit über einen Webbrowser sollen bestehen bleiben. Außerdem wäre es für die Portierung auf die neue Architektur förderlich, wenn bestehende Implementationen übernommen werden können, was am einfachsten wäre, wenn bereits genutzte Technologien wiederverwendet werden. In der Hinsicht ergibt es Sinn, sich an Dash und den darin eingebundenen Bibliotheken zu orientieren und aus dem Framework unerwünschte Beschränkungen zu entfernen.

Eine der durchgeführten Maßnahmen, um die Beschränkungen der bisherigen Architektur zu entfernen, ist die Trennung von Frontend und Backend. Bei der Verwendung von Dash wird die Schnittstelle zwischen den beiden Komponenten automatisch erzeugt, weswegen dort praktisch keine Anpassungen vorgenommen werden können. Die Trennung bietet den Vorteil, dass Frontend und Backend unabhängig voneinander entwickelt werden können, was insbesondere die Möglichkeit eröffnet, mehrere Frontends zu implementieren. So könnten neben einer Weboberfläche beispielsweise auch mobile Apps verwendet werden, um die Anwendung zu bedienen.

Für die Weboberfläche bildet die JavaScript-Bibliothek *React*<sup>15</sup> die Basis. React gehört zu den meistgenutzten Bibliotheken für die Entwicklung von Webanwendungen und ist auch das Paket, was Dash verwendet, um die Weboberfläche bereitzustellen. Das Herauslösen hat vor allem den Vorteil, dass nun das weite Ökosystem rund um React und auch generell von JavaScript zur Verfügung steht. Das Frontend soll auch weiterhin als Single-Page-Application ausgeliefert werden. Das bedeutet, dass die Anwendung auf Benutzerseite komplett in den Browser geladen wird und benötigte Datenabrufe über eine Web-API (**application programming interface**) an das Backend durchgeführt werden.

Für das Backend sind größere Änderungen notwendig geworden. Da die automatische Kopplung von Frontend und Backend weggefallen ist, muss die Schnittstelle nun eigens implementiert werden. Aufgrund der Natur der Webanwendung liegt es nahe, die Funktionen des Backends mittels einer Web-API zur Verfügung zu stellen. Auf dem Webserver werden die Daten vorgehalten und erforderliche Berechnungen durchgeführt, die der Client auf Frontend-Seite über HTTP abrufen kann. Für die Implementierung fiel die Wahl auf die Bibliothek *Flask*<sup>16</sup>, die wie *React* ebenfalls in

---

<sup>15</sup> <https://reactjs.org/>

<sup>16</sup> <https://palletsprojects.com/p/flask/>

Dash integriert ist. Wie bei React ergibt sich durch das Herauslösen der große Vorteil, dass Plugins und andere Module verwendet werden können, um Funktionalitäten wie eine Benutzerauthentifizierung umzusetzen.

Neben dem Webserver bilden noch weitere Dienste das Backend. Für die Datenhaltung stehen dafür zwei Datenbanken zur Verfügung: *MongoDB*<sup>17</sup> und *InfluxDB*<sup>18</sup>. MongoDB ist ein dokumentenbasiertes Datenbankmanagementsystem, das in VISEABLE für das Speichern von allgemeinen Daten, z. B. Benutzerdaten, zuständig ist. InfluxDB ist ein Datenbankmanagementsystem, das speziell für Zeitreihen konzipiert ist. Deswegen bietet sich InfluxDB an, um die vorhandenen Energie- und Lastdaten zu speichern und diese auch wieder effizient auszuliefern.

Eine weitere Komponente des Backends, die in der alten Version nicht vorhanden war, ist der Service für Berechnungen. Die meisten Vorgänge des Backends können vom Webserver übernommen werden, beispielsweise die Benutzerauthentifizierung oder das Ausliefern von einfachen Statistiken. Längere Berechnungen können aber den normalen Betrieb verzögern, weswegen diese in eigene Instanzen ausgelagert werden. Je nach Last können auch mehrere Server eingesetzt werden, die diese Berechnungen durchführen. Die Ergebnisse werden in einer weiteren Datenbank abgelegt: *Redis*<sup>19</sup>. Redis ist ein *key-value*-Speicher und gut für Daten geeignet, die keine komplizierte Struktur aufweisen und tendenziell über keinen längeren Zeitraum gespeichert werden müssen. Die Ergebnisse von Berechnungen, die ein Endnutzer angefordert hat, können anschließend aus Redis über die API abgerufen werden.

Da es mehrere Datenbank-Komponenten gibt (MongoDB, InfluxDB, Redis), auf die ebenfalls verschiedene Komponenten zugreifen (Webserver, Server für Berechnungen), wird zuletzt ein Modul eingeführt, das für die Datenbankzugriffe zuständig ist. So können Webserver und die Server für Berechnungen auf einheitliche Weise auf die Datenbanken zugreifen. In Abbildung 27 ist die so neu konzipierte Softwarearchitektur grafisch dargestellt.

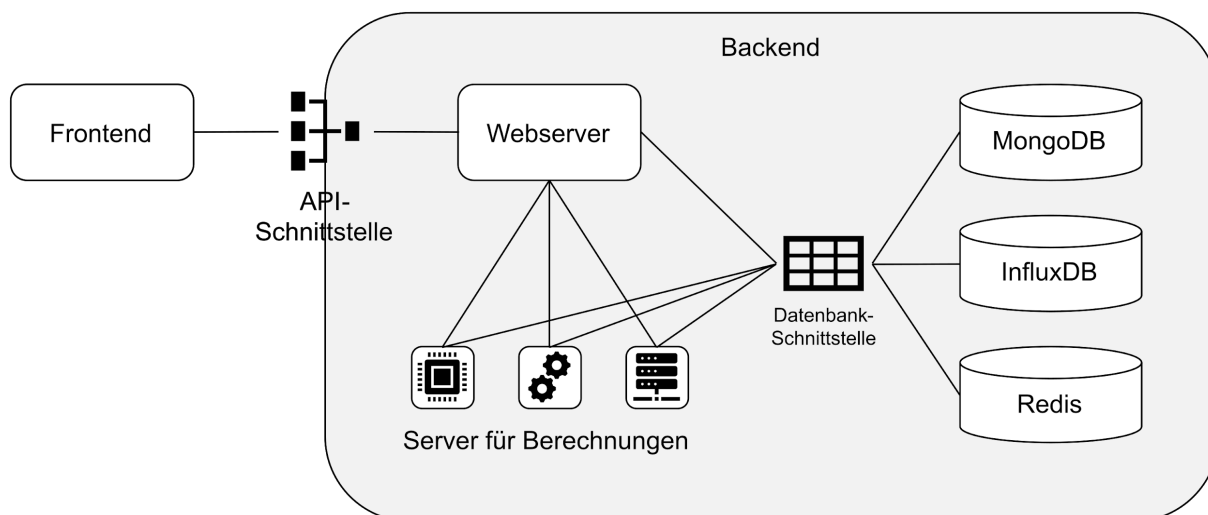


Abbildung 27: Neu konzipierte Architektur für VISEABLE

<sup>17</sup> <https://www.mongodb.com/de>

<sup>18</sup> <https://www.influxdata.com/products/influxdb/>

<sup>19</sup> <https://redis.io/>

Für die Bereitstellung der Software ist die Entscheidung getroffen worden, die einzelnen Services als Container zu virtualisieren. Auf diese Weise können einerseits Abhängigkeiten im Quelltext direkt in den Containern gebündelt werden, andererseits kann durch die Virtualisierung eine flexible Skalierung der Services vorgenommen werden. Zum Einsatz kommt *Docker*<sup>20</sup>, das in diesem Anwendungsfeld Industriestandard ist. Für alle Services existieren vorgefertigte Docker-Container, auf denen die eigens zusammengestellten Container für VISEABLE aufgebaut werden können.

### 3.4.5 Funktionen für VISEABLE

Die wesentliche Funktion der Webanwendung VISEABLE ist die Visualisierung von Energie- und Lastdaten im Unternehmen. Mit diesem Instrument sollen die Daten dem Endnutzer zugänglich gemacht werden, damit er erkennen kann, wie es um seinen Energieverbrauch steht und ob Effizienzmaßnahmen angebracht sind. Hierfür werden unterschiedliche Ansichten und Plots bereitgestellt, um Auffälligkeiten und potenzielle Probleme beim Energieverbrauch ausmachen zu können. Funktionen, die alle Plots mit sich bringen, sind folgende:

- Ein- und Ausblenden von Datenreihen
- Zoom
- Verschieben der Ansicht
- Mouse-Over zum Anzeigen von Datenpunkten (Zeitpunkt und Wert)
- Export als Vektorgrafik

Die Anwendung ist in zwei Sektionen geteilt: EVU<sup>21</sup>-Daten und Messungen des Messkoffers. Da sich zwischen den Daten unter anderem die Zeiträume (Jahre gegen Wochen) und Auflösungen (15-minütig gegen sekundlich) unterscheiden, gibt es auch verschiedene Ansichten für die Visualisierung. Die Ansichten für die Messkoffer-Daten sind in der ersten Version von VISEABLE implementiert worden. Die Portierung auf die neue Version ist nicht durchgeführt worden, da die Implementierung weiterer Funktionen für die EVU-Daten priorisiert wurde.

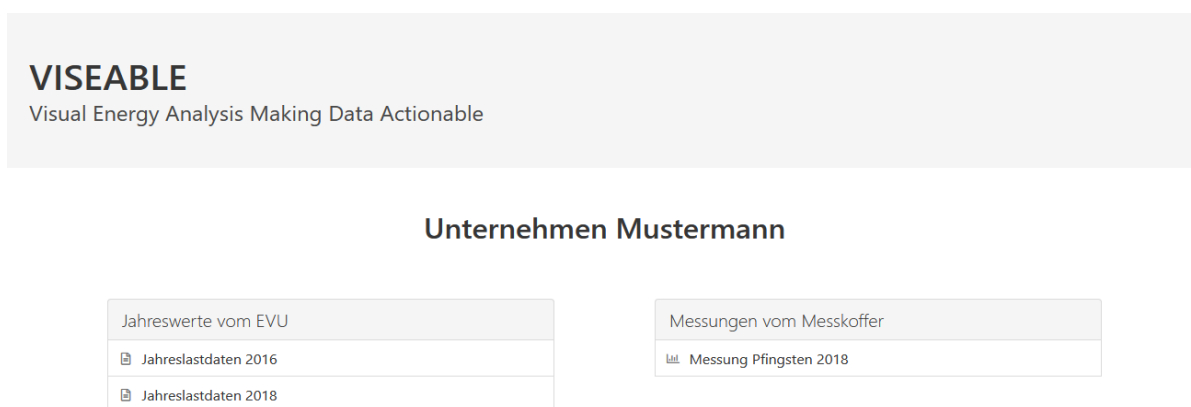


Abbildung 28: Ansicht zur Auswahl von EVU-Daten oder Messungen

<sup>20</sup> <https://www.docker.com/>

<sup>21</sup> Energieversorgungsunternehmen

Für beide Sektionen kann der Endanwender auswählen, welche Daten er sich genauer anschauen möchte (siehe Abbildung 28). Bei den EVU-Daten kann er das betreffende Jahr auswählen oder auch die Funktion aufrufen, die vorhandenen Jahresdaten zu vergleichen. Bei den Messungen des Messkoffers stehen die jeweiligen Messungen als Auswahl zur Verfügung. Folgend werden die Ansichten in den jeweiligen Sektionen aufgelistet und kurz beschrieben.

### **Ansichten (EVU-Daten)**

**Lastgang.** Anzeige des jährlichen Lastgangs als Liniendiagramm. Möglichkeit, einen tagesgenau eingestellten Zeitbereich auszuwählen und anzuzeigen.

**Streugrafik.** Alle Tageslastgänge eines Monats werden übereinander gelegt und angezeigt. Datenpunkte werden nicht mit einer durchgehenden Linie verbunden, sondern als Punktwolke angezeigt (s. Abbildung 29). Das Einstellen der Betriebszeit ermöglicht das Einfärben der Datenpunkte, die zur Betriebszeit gehören. Durch das Übereinanderlegen der Datenpunkte können Cluster und Ausreißer besser erkannt und analysiert werden.

**Aggregierte Daten.** Jährlicher Lastgang wird auf Tage, Wochen oder Monate aggregiert. Es werden so Tages-, Wochen- bzw. Monatsverbräuche als Säulendiagramm angezeigt. Möglichkeit, die Säulen chronologisch oder sortiert anzuzeigen. Der jeweilige Mittelwert der Verbräuche wird als Linie angezeigt.

**Wochentage.** Für jeden Wochentag werden die Tagesverbräuche als Datenpunkte angezeigt. Der durchschnittliche Verbrauch pro Wochentag wird als Säule angezeigt. So kann die Verteilung der Tagesverbräuche auf Wochentageebene besser erfasst werden.

**Abweichung Wochenverbrauch.** Es wird der durchschnittliche Wochenverbrauch berechnet und für jede Woche die Abweichung hierzu als Säulendiagramm angezeigt. Möglichkeit, die Abweichung in relativen oder absoluten Zahlen anzuzeigen.

**Jahresdauerlinie.** Die Werte des jährlichen Lastgangs werden absteigend sortiert und als Liniendiagramm angezeigt.

**Lastspitzen.** Die 100 höchsten Leistungswerte des Jahres werden absteigend als Säulendiagramm angezeigt. Möglichkeit, ursprüngliche 15-Minuten-Leistungswerte anzuzeigen oder auf Stunden oder Tage zu aggregieren.

**Vergleich Jahreslastgänge.** Für die vorhandenen Jahresdaten werden Lastgänge chronologisch angezeigt. Möglichkeit, Lastgänge übereinander gelegt anzuzeigen.

**Vergleich Tageslastgänge.** Zwei auswählbare Tageslastgänge werden übereinander gelegt angezeigt.

**Vergleich Monatsverbräuche.** Monatsverbräuche pro Jahr werden gruppiert als Säulendiagramm angezeigt.

**Vergleich Wochentage.** Die durchschnittlichen Wochentagsverbräuche pro Jahr werden gruppiert als Säulendiagramm angezeigt.

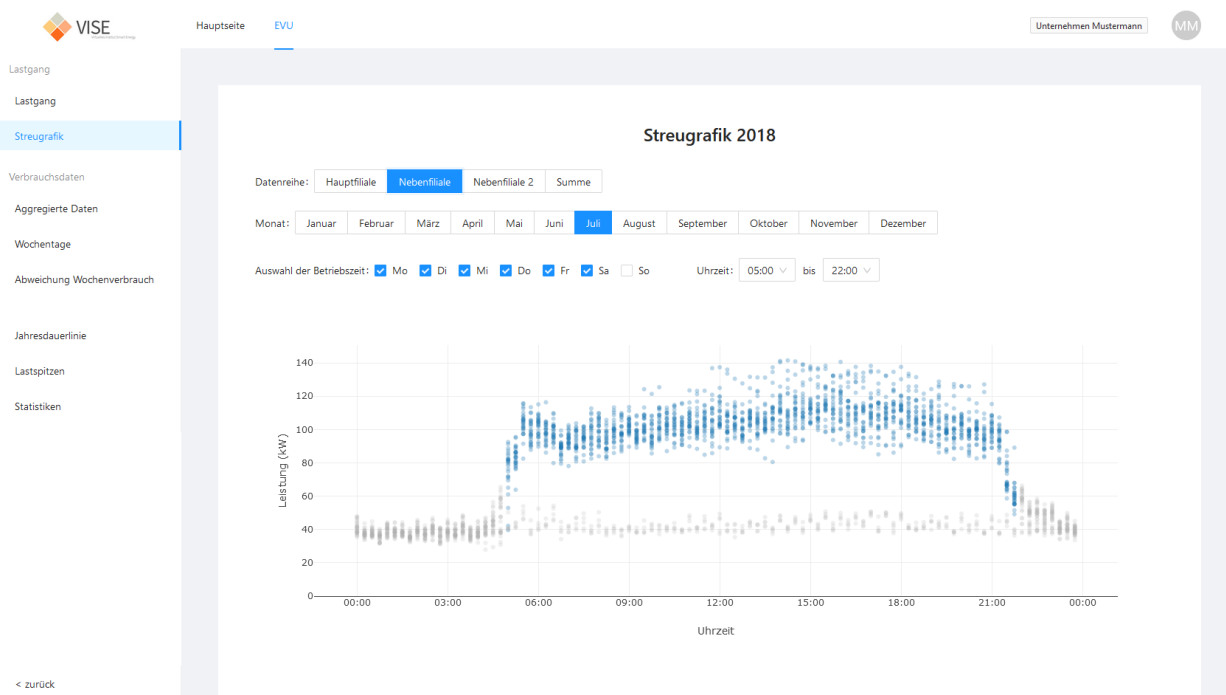


Abbildung 29: Ansicht Streugrafik mit Mouse-Over zur Anzeige von Datenpunkten

## Statistiken (EVU-Daten)

**Gesamtverbrauch.** Jährlicher Gesamtverbrauch in kWh.

**Lastspitzen.** Zeitpunkt der jährlichen Lastspitze und dazugehöriger Wert in kW.

**Durchschnittlicher Verbrauch.** Durchschnittlicher täglicher, wöchentlicher und monatlicher Verbrauch in kWh. Das Einstellen der Betriebszeit ermöglicht das Berechnen des durchschnittlichen Verbrauch an Betriebs- und an Ruhetagen.

**Durchschnittliche Leistung.** Durchschnittliche Leistung in der Betriebs- und in der Ruhezeit in kW (basierend auf der eingestellten Betriebszeit).

**Anteil der Grundlast am Gesamtverbrauch.** Der Verbrauch in der Ruhezeit (basierend auf der eingestellten Betriebszeit) wird auf das gesamte Jahr hochgerechnet. Der Anteil dieser Zahl am jährlichen Gesamtverbrauch wird angezeigt. So wird erkennbar, wie viel die Grundlast im jährlichen Verbrauch ausmacht.

**Anteil der Spitzenlast am maximalen Leistungsbezug.** Die 100 höchsten Leistungswerte des Jahres werden absteigend sortiert. Die Differenz zwischen dem ersten und dem hundertsten Wert wird durch den ersten Wert geteilt. So wird erkennbar, wie steil die Spitzenlasten abfallen.

## Ansichten (Messungen des Messkoffers)

**Lastgang.** Anzeige des Lastgangs der jeweiligen Messung. Verschiedene Messgrößen (Spannung, Stromstärke, Phasenverschiebung, Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung) können dargestellt werden.

### 3.4.6 Perspektiven in der Weiterentwicklung

Zusammen mit den Forschungs- und Anwendungspartnern wurden verschiedene Ansichten konzipiert, mit denen die Energie- und Lastdaten visualisiert werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf den EVU-Daten, da diese immer in einer fixen Struktur (15-Minuten-Daten eines Jahres) vorliegen und damit von Programmen unkomplizierter zu handhaben sind. Für Messungen mit dem Messkoffer können Konzepte erdacht werden, die auch unabhängig von der Dauer der Messung valide Visualisierungen erzeugen.

Mithilfe der mobilen Messtechnik und der Webanwendung VISEABLE kann ein großer Schritt in Richtung Automatisierung des *monitoring* im Sinne des MAPE-K-Zyklus realisiert werden. Durch die verschiedenen Ansichten in VISEABLE sind auch Elemente des *analysing* vorhanden, die automatisiert werden können. In dieser Phase des Zyklus können weitere Funktionen verortet werden, mit denen die Anwendung erweitert werden kann.

In der bisherigen Form werden nur die Energie- und Lastdaten herangezogen, um die erläuterten Visualisierungen und auch Statistiken zu erzeugen. Für weitergehende Analysen wären andere Dimensionen relevant. Unternehmer\*innen können beispielsweise mehr über die Wirtschaftlichkeit potenzieller Maßnahmen sagen, wenn ihnen in der Anwendung auch Energiekosten angezeigt werden. So können Investitionsentscheidungen getroffen werden, die besondere Einsparpotenziale bergen.

Fasst man die späteren Phasen im MAPE-K-Zyklus ins Auge, so können weitere Daten zur Analyse herangezogen werden, um die Steuerung der Energiesysteme zu planen und durchzuführen. Exemplarisch seien Klimadaten genannt, da der Energieverbrauch häufig von den Temperaturen abhängt. Je nach Branche können sich auch Besucherzahlen oder generell die Nachfrage in den Energie- und Lastflüssen niederschlagen. Werden solche Daten in der Anwendung gesammelt und zentral ausgewertet, können darauf aufbauend fundiertere Entscheidungen getroffen und umgesetzt werden. Solche Entscheidungen können zunächst manuell in die Tat umgesetzt werden und später auch vollautomatisch durchgeführt werden. Dies wäre, wenn möglich, immer das Ziel, wenn der MAPE-K-Zyklus als Blaupause zur Automatisierung von Prozessen zugrunde gelegt wird.

## 4 Fallbeispiele: energetische Analyse im Anwendungskontext

In diesem Kapitel wird die energetische Analyse mittels mobilem Messsystem und der Visualisierungssoftware VISEABLE anhand von zwei Fallbeispielen in konkreten Anwendungskontexten illustriert. Die beiden Fallbeispiele unterscheiden sich maßgeblich darin, welche Anforderungen sie an die energetische Analyse stellen. Das erste Fallbeispiel ist ein Freizeitbetrieb, der durch viele unterschiedliche Nutzungsarten (u. a. Restaurant, Imbiss, Verkaufs-, Wohn- und Bürofläche, Freizeitanlage) gekennzeichnet ist. Das zweite Fallbeispiel bezieht sich auf einen Lebensmitteleinzelhandel mit drei Standorten, wodurch eine vergleichende Analyse und Benchmarking im Vordergrund der energetischen Analyse stehen. Anhand dieser unterschiedlichen Anwendungskontexte kann das breite Spektrum an Effizienzpotenzialen verdeutlicht werden, welches durch die energetische Analyse identifiziert und gehoben werden kann. Beide Fallbeispiele sind insofern ein „harter Test“ für die energetische Analyse, weil in beiden Unternehmen bereits ein hohes Bewusstsein für Energieeffizienz in der Geschäftsführung besteht und bereits viele Maßnahmen vor der energetischen Analyse umgesetzt wurden. Die Fallbeispiele zeigen, dass in den unterschiedlichen Anwendungskontexten trotzdem wichtige Effizienzpotenziale und Kosteneinsparungen generiert werden können. Zentrale Handlungsoptionen für unterschiedliche Anwendungskontexte werden aufgezeigt. Anhand von qualitativen Interviews mit den Unternehmen wird außerdem reflektiert, welchen Nutzen die energetische Analyse aus Sicht der Unternehmen hat und welche Bedarfe adressiert werden sollten, um eine möglichst zielgerichtete und kosteneffiziente Weiterentwicklung der energetischen Analyse zu ermöglichen.

### 4.1 Fallbeispiel 1 – energetische Analyse eines Freizeitbetriebes mit mobiler Messtechnik

Das erste Fallbeispiel illustriert die energetische Analyse anhand eines Freizeitbetriebes. Dazu wird auf die energetische Analyse, den Einsatz der Messtechnik sowie die Anwendung des Energiedatenvisualisierungs-Tools VISEABLE eingegangen (Kapitel 4.1.1 – 4.1.4). In den jeweiligen Unterkapiteln werden zum einen zentrale Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Arbeiten dargelegt. Darüber hinaus zeigen Erkenntnisse aus den qualitativen Interviews mit dem Unternehmen detailliert die Unternehmersicht zum Thema Energieeffizienz sowie der Anwendung mobiler Messtechnik und der Software VISEABLE auf.

#### 4.1.1 Ausgangslage: Betrieb & Einstellungen

Bei dem Freizeitbetrieb handelt es sich um ein mittelständisches Unternehmen (< 50 Mitarbeitende), welches durch einen saisonalen Betrieb in den Sommermonaten gekennzeichnet ist. Neben den Freizeitanlagen befinden sich am Standort des Betriebes mehrere Gebäude mit unterschiedlicher Nutzungsart (u. a. Restaurant, Imbiss, Verkaufs-, Wohn- und Bürofläche). Aufgrund der vielfältigen Nutzungsarten der Unternehmensgebäude, die bei dem Freizeitbetrieb vorliegen, bietet das Fallbeispiel umfangreiche Erkenntnisse zu der variablen Einsatzmöglichkeit der mobilen Messtechnik.

Wie in Kapitel 2.3.2 verdeutlicht, sind die individuellen **Einstellungen** bezüglich Energieverbrauch und -effizienz sowohl von Geschäftsführungen als auch von Mitarbeitenden im Kontext von KMU besonders relevant. In dem untersuchten Freizeitbetrieb zeigt sich grundsätzlich, dass

Energieverbräuche als relevantes Thema wahrgenommen werden. Entscheidend ist dabei zunächst, dass Energie als „Kostenfaktor“ wahrgenommen wird (Interview Unternehmer Freizeitbetrieb, nachfolgend „Interview UF“). Gerade im Kontext einer neu angeschafften Freizeitanlage spielten die Energiekosten eine wichtige Rolle und wirken sich auch darauf aus, ob die spezifische Freizeitanlage überhaupt als Geschäftsmodell funktionieren könne: „[...] da verstehen wir uns schon als Unternehmen, dass von Energie abhängig ist“ (Interview UF). Dabei seien letztlich die Preise für die Endkunden bzw. deren Zahlungsbereitschaft entscheidend, Wettbewerbsvorteile gegenüber möglicherweise konkurrierenden Freizeitanlagen seien hingegen kaum relevant. Grundsätzlich werde bei neuen Installationen darauf geachtet, dass diese energieeffizient seien. Auch bei bestehenden Systemen werde versucht, diese zu optimieren: „Ja, unser Elektriker schaut schon danach. Also das geht bei Glühbirnen los und bei Seilbahnen weiter, wenn man da den optimalen Frequenzbereich bespricht, bei dem sich eine Seilbahn bewegt, etc.“ (Interview UF).

Das **Verhalten von Mitarbeitenden** kann Rückschlüsse darauf geben, welche Arten von Handlungsoptionen zu priorisieren sind. Bestehen ein hohes Bewusstsein und energiesparendes Verhalten, kann ein geringeres Maß an Automatisierung ausreichend sein. Besteht demgegenüber ein geringes Bewusstsein und wird tendenziell Energie verschwendet, könnte ein höheres Maß an Automatisierung sinnvoll sein. Bei den Mitarbeitenden des Freizeitbetriebes zeige sich ein sehr unterschiedlicher Umgang mit dem Thema Energie: „Das ist ein Thema, oft auch im negativen Sinne, dass man da schon auch hinterher sein muss, bei vielen Mitarbeitern. Abends Licht aus machen, auch an den Seilbahnen, wenn da bestimmte Sachen auszuschalten sind. Wir haben auch schon mal gehabt, dass hier die Heizstrahler die ganze Nacht an waren – das macht dann auch nicht so viel Spaß. Also das Bewusstsein bei den Mitarbeitern ist unterschiedlich.“ So sieht es auch der Elektriker des Unternehmens: „Es ist extrem unterschiedlich. Von: ‚Es ist mir völlig egal.‘ Bis hin zu, dass sich Leute Gedanken machen, Verbesserungen anregen, z. B. auch zu automatisieren“ (Interview Elektriker Freizeitbetrieb, nachfolgend „Interview EF“).

Für Energieeffizienzmaßnahmen oder eigene Erzeugungsanlagen sind **Amortisationszeiten** oftmals handlungsleitend und definieren, welche Handlungsoptionen aus Sicht der Unternehmen realisierbar sind. Im Falle des Freizeitbetriebes werden längerfristige Amortisationszeiten als darstellbar angesehen. Für die PV-Anlage wird beispielsweise eine Amortisationszeit von sechs bis maximal sieben Jahren als akzeptabler Zeitrahmen beurteilt.

#### 4.1.2 Energetische Analyse

Um einen Überblick über den Aufbau und Zustand des Energiesystems des Freizeitbetriebes zu erhalten, wurde zunächst eine energetische Analyse durchgeführt. Die Vorgehensweise dieser Analyse ist angelehnt an den Prozess der Erstellung von Energieaudits (bspw. nach DIN EN 16247-1). Dementsprechend wurden zunächst in Vor-Ort-Begehungen allgemeine Daten zum Energiesystem sowie zur Verbrauchsstruktur erhoben. Dazu wurden mittels Datenaufnahmebogen die relevanten Verbraucher je Teilbereich identifiziert. Anhand der Analyse und Auswertung dieser Daten wurde anschließend der energetische Ist-Zustand des Unternehmens ermittelt. Im Anschluss wurden Effizienzpotenziale identifiziert. Auf dieser Basis konnten schließlich Energieeffizienzmaßnahmen entwickelt, priorisiert und den Unternehmer\*innen vorgestellt werden. Bei der energetischen Analyse wurde der Fokus auf den Energieträger Strom gelegt, zumal auch

das in den Anwendungstests eingesetzte mobile Messsystem (s. Kapitel 3.2) der elektrischen Wirkleistungsmessung dient.

## Ergebnisse und Erkenntnisse der energetischen Analyse

Die energetische Analyse des Freizeitbetriebes hat aufgezeigt, dass das Unternehmen sich mit dem Thema Energieeffizienz bereits beschäftigt hat. So wurden in den vergangenen Jahren bereits Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt (z. B. die sukzessive Umrüstung auf LED-Beleuchtung, neue Kältetechnik-Zentrale). Die Verbrauchsstruktur (Strom) konnte ebenso aufgrund vorhandener Unterlagen schnell aufgeschlüsselt und wesentliche Verbrauchergruppen (z. B. Freizeitanlagen, Restaurant, Kältetechnik) identifiziert werden. Eine Photovoltaik-Anlage wurde zum Zeitpunkt des Anwendungstests auf einem der Gebäudedächer installiert. Allerdings wurden die Energieverbrauchsdaten (Lastgangdaten des Energieversorgungsunternehmens) bisher noch nicht angefordert und im Detail analysiert. Auch über die Verteilung der Lastflüsse im Unternehmen lagen keinerlei Informationen vor.

Deswegen wurde zunächst anhand der Daten des Energieversorgungsunternehmens eine Analyse der Lastgangdaten der vergangenen Jahre durchgeführt. Auffällig war hier insbesondere eine neue Freizeitanlage mit besonders hohem Stromverbrauch im Jahr 2017. Aus diesem Grund wurden in der Analyse das Referenzjahr 2016 (ohne neue Freizeitanlage) und das Jahr 2018 (mit neuer Freizeitanlage) verglichen. Die Ergebnisse dieser Analysen haben aufgezeigt, dass die neue Freizeitanlage einen erheblichen Einfluss auf den Gesamtstromverbrauch des Freizeitbetriebes hatte. So ist der Gesamtstromverbrauch im Jahr 2018 gegenüber dem Referenzjahr 2016 um ca. 92 % angestiegen. Weiterhin wurde anhand der Analyse von Tages-, Wochen- und Monatsverbräuchen der Einfluss des saisonalen Betriebs auf den Energieverbrauch betrachtet. Im Jahr 2016 wurde in den Monaten Mai – September rund doppelt so viel Strom verbraucht wie in den restlichen Monaten. Im Jahr 2018 wird der saisonale Einfluss auf den Verbrauch nochmals deutlicher. Hier machen die Wintermonate lediglich ein Viertel des Stromverbrauchs der Sommermonate aus. Der Betrieb der neuen Freizeitanlage hat sich ebenso auf den durchschnittlichen Verbrauch pro Wochentag ausgewirkt. Während dieser im Jahr 2016 für alle Wochentage noch nahezu konstant war, ist der Stromverbrauch an den Wochenendtagen im Jahr 2018 etwa um 25 % angestiegen.

Neben dem Anstieg des Gesamtstromverbrauchs hat der Betrieb der neuen Anlage auch eine erhöhte Leistungspreiskomponente<sup>22</sup> in der Energiekostenabrechnung bewirkt. So wurde die höchste nachgefragte Leistung aus dem Referenzjahr 2016 im Jahr 2018 um etwa 280 % überschritten, was einen zusätzlichen Anstieg der Energiekosten zur Folge hatte. Eine detaillierte Betrachtung der **Lastspitzen** in 2016 und 2018 hat darüber hinaus aufgezeigt, dass diese jeweils am Pfingstwochenende aufgetreten sind. Dies ist auf ein jährlich stattfindendes Event an Pfingsten zurückzuführen.

Schließlich konnten auf Basis der energetischen Analyse bereits Energieeffizienzmaßnahmen wie bspw. Verbrauchsoptimierungen an der neuen Freizeitanlage, die kontinuierliche Umrüstung

---

<sup>22</sup> Unternehmen in der registrierenden Leistungsmessung (RLM) zahlen zusätzlich zum Arbeitspreis (€/kWh) einen Leistungspreis (€/kW) auf die höchste in einem Jahr bezogene Leistung (sog. Lastspitzen). Die Leistungspreiskomponente als Teil der Netzentgelte können die Strombezugskosten erheblich beeinflussen und hängen unmittelbar von der Höhe der nachgefragten Leistung ab.

auf LED-Beleuchtung sowie die Reduktion von Standby-Verbräuchen entwickelt werden. Gleichzeitig bot die energetische Analyse eine gute Ausgangsbasis für den Einsatz mobiler Messtechnik zur Erfassung der elektrischen Haupt- und Unterverteilungen sowie einzelner Verbrauchergruppen. Auf die Erhebung und Auswertung dieser Messdaten sowie der damit einhergehende Nutzen für die energetischen Analyse wird nachfolgend detailliert eingegangen.

### **4.1.3 Einsatz mobiler Messtechnik**

Der Einsatz der mobilen Messtechnik ermöglicht eine detaillierte energetische Analyse des Betriebs, wodurch Einsparpotenziale identifiziert und quantifiziert werden können. Die Vorgehensweise zum Einsatz der mobilen Messtechnik orientiert sich dabei an dem in Kapitel 3.2 beschriebenen Messkonzept.

In dem Freizeitbetrieb wurden in 2018 und 2019 insgesamt vier Kurzzeitmessungen durchgeführt. Nach Festlegung der Messprioritäten wurden dabei sowohl die Haupt- als auch die Unterverteilungen über einen Messzeitraum von jeweils zwei bis vier Wochen erfasst. Darüber hinaus war die Messtechnik über das Pfingstwochenende installiert, um insbesondere die in den Lastgangdaten identifizierten Lastspitzen zu erfassen. Anschließend erfolgte die Analyse und Auswertung der Messdaten mit weiteren Messungen in den Unterverteilungen zur Detailanalyse von Auffälligkeiten. So wurden beispielsweise in den Unterverteilungen identifizierte Lastspitzen sowie hohe Grundlastverbräuche durch zusätzliche Messungen nochmals im Detail untersucht. Abschließend wurden die Ergebnisse der energetischen Analyse sowie der durchgeführten Messungen dem Unternehmen vorgestellt.

### **Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Messungen**

Im Fokus der nachfolgend beschriebenen Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Messungen stehen die Schaffung von Transparenz über die Energie- und Lastflüsse des Freizeitbetriebes sowie Detailanalysen zu Lastspitzen und Grundlastverbräuchen. Abbildung 30 stellt dazu zunächst die in den Messungen erfassten Haupt- und Unterverteilungen sowie Einzelverbraucher dar.

Der Freizeitbetrieb ist über zwei örtlich getrennte Transformatoren an das Mittelspannungsnetz angeschlossen. Da mehr als 80 % des Gesamtstromverbrauchs des Unternehmens über *Trafo 1* gespeist werden, wurden auch in den Haupt- und Unterverteilungen dieses Transformators Messungen durchgeführt (s. Abbildung 30, blau markiert). Als Hauptverteilungen wurden *Restaurant*, *Heizungsraum*, *Imbiss*, *Zeltplatz*, *Büro* und *Freizeitanlage 1* erfasst. In den Hauptverteilungen *Heizungsraum* und *Büro* wurden darüber hinaus Unterverteilungen erfasst. Die *neue Freizeitanlage* sowie *Freizeitanlage 1* sind als Einzelverbraucher unmittelbar an die Hauptverteilung angeschlossen und konnten somit separat gemessen werden.

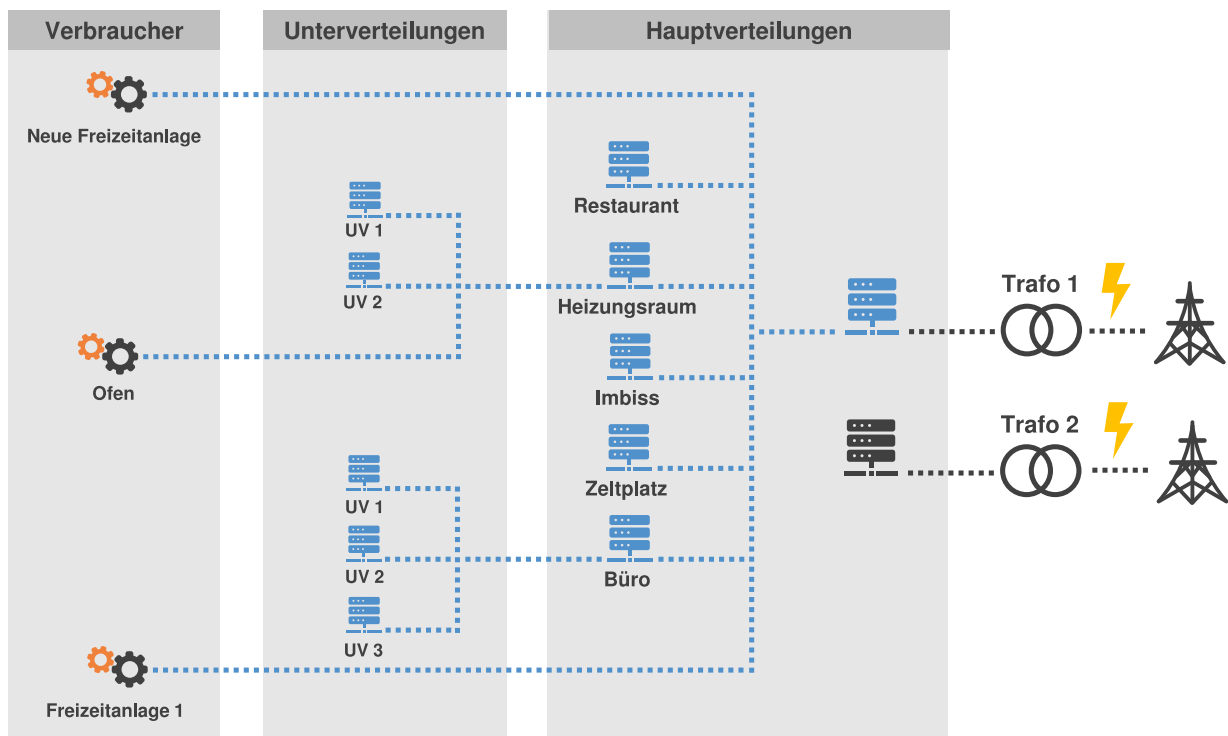


Abbildung 30: Schematische Darstellung der messtechnisch erfassten Haupt- und Unterverteilungen sowie Verbraucher in dem Freizeitbetrieb

Um zunächst die jeweiligen prozentualen Anteile der Haupt- und Unterverteilungen sowie Einzelverbraucher zu bestimmen, wurde in allen Kurzzeitmessungen eine Referenzwoche (Erläuterung s. Kapitel 3.2) gebildet. Der Gesamtstromverbrauch der Referenzwoche gilt als Richtwert für den wöchentlichen Stromverbrauch und ist abhängig vom Messzeitpunkt (saisonale Schwankungen im Verbrauch). Ein Vergleich mit den wöchentlichen Stromverbräuchen aus den Lastgangdaten hat aufgezeigt, dass der Gesamtstromverbrauch der Referenzwoche des Freizeitbetriebes repräsentativ für den Messzeitpunkt (Pfingsten 2019) ist. Diese Überprüfung ist insbesondere in Unternehmen wichtig, deren Verbrauch hohe saisonale Schwankungen aufweist. In der nachfolgenden Abbildung sind die jeweiligen prozentualen Anteile der Verteilungen am Gesamtstromverbrauch der Referenzwoche dargestellt (s. Abbildung 31).

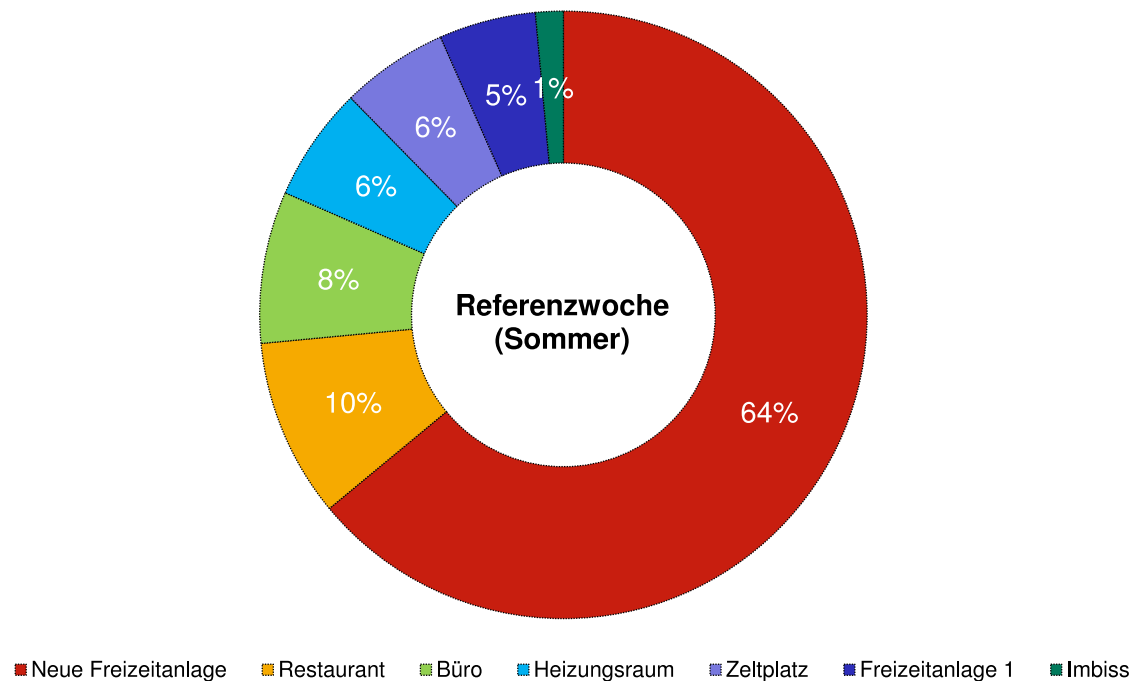


Abbildung 31: Anteile der Haupt- und Unterverteilungen sowie der Einzelverbraucher an der Referenzwoche (Sommer) des Freizeitbetriebes

Die Analyse hat aufgezeigt, dass die neue Freizeitanlage mit einem Anteil von 64 % am Gesamtstromverbrauch den mit Abstand größten Verbrauch des Freizeitbetriebes ausmacht. Anschließend folgten die Hauptverteilungen *Restaurant*, *Büro*, *Heizungsraum* und *Zeltplatz* mit Anteilen zwischen 10 % und 6 % des Gesamtstromverbrauchs. Die *Freizeitanlage 1* (5 %) sowie der *Imbiss* (1 %) weisen die geringsten Verbrauchsanteile auf. Diese Auswertung wurde in allen Messkampagnen der Anwendungstests durchgeführt und zeigt systematisch verbrauchsrelevante Verteilungen bzw. Verbraucher auf, die im Anschluss hinsichtlich ihrer Effizienzpotenziale im Detail betrachtet werden können.

Weiterhin lieferten die Messungen in dem Freizeitbetrieb auch Daten zur **Detailanalyse der Lastspitzen**. Da aus der Analyse der Lastgangdaten der vergangenen Jahre hervorgegangen ist, dass die höchsten Lastspitzen am Pfingstweekenende auftraten, wurde die Messtechnik über die Pfingstfeiertage 2019 installiert. Die Auswertung der Lastgänge der Haupt- und Unterverteilungen ergab zum einen, dass die Hauptverteilung *Zeltplatz* für die hohen Lastspitzen am Pfingstweekenende verantwortlich war. Über die Pfingsttage lag an dieser Hauptverteilung die doppelte der sonst üblichen Last an. Nach Rücksprache mit dem Unternehmer konnten die Ursachen für die erhöhte Last identifiziert und daraufhin Maßnahmen zur zukünftigen Vermeidung der hohen Lastspitzen entwickelt werden. Zum anderen zeigten die Lastverläufe der gemessenen Verteilungen auch in den Abendstunden erhöhte Lastspitzen auf. In diesem Fall sind die Lastspitzen auf Verbraucher zurückzuführen, die an der Hauptverteilung *Restaurant* angeschlossen sind. Nach Rücksprache mit dem Unternehmer und einer Begehung des Restaurants hat sich herausgestellt, dass einzelne Küchengeräte für den Leistungsanstieg verantwortlich sind. Bedingt durch die zeitlich parallele Messung mehrerer Teilbereiche konnten somit Detailanalysen zu den Ursachen der Lastspitzen durchgeführt werden.

Auf Grundlage der durchgeführten Messungen konnte ebenfalls eine **Detailanalyse zu Grundlastverbräuchen** der Verteilungen durchgeführt werden. Da die Grundlast über das gesamte Jahr anliegt, liegen insbesondere in der Reduzierung der Grundlast hohe Energiekosteneinsparungen. Als Richtwert resultieren aus einer Reduzierung der Grundlast um ein Kilowatt (kW) Einsparungen von etwa 1.900 €/a<sup>23</sup>. Aus den Messdaten der elektrischen Verteilungen konnte jeweils die durchschnittliche Grundlast ermittelt werden. In Abbildung 32 sind die Anteile der durchschnittlichen Grundlast der Verteilungen an der Gesamtgrundlast dargestellt.

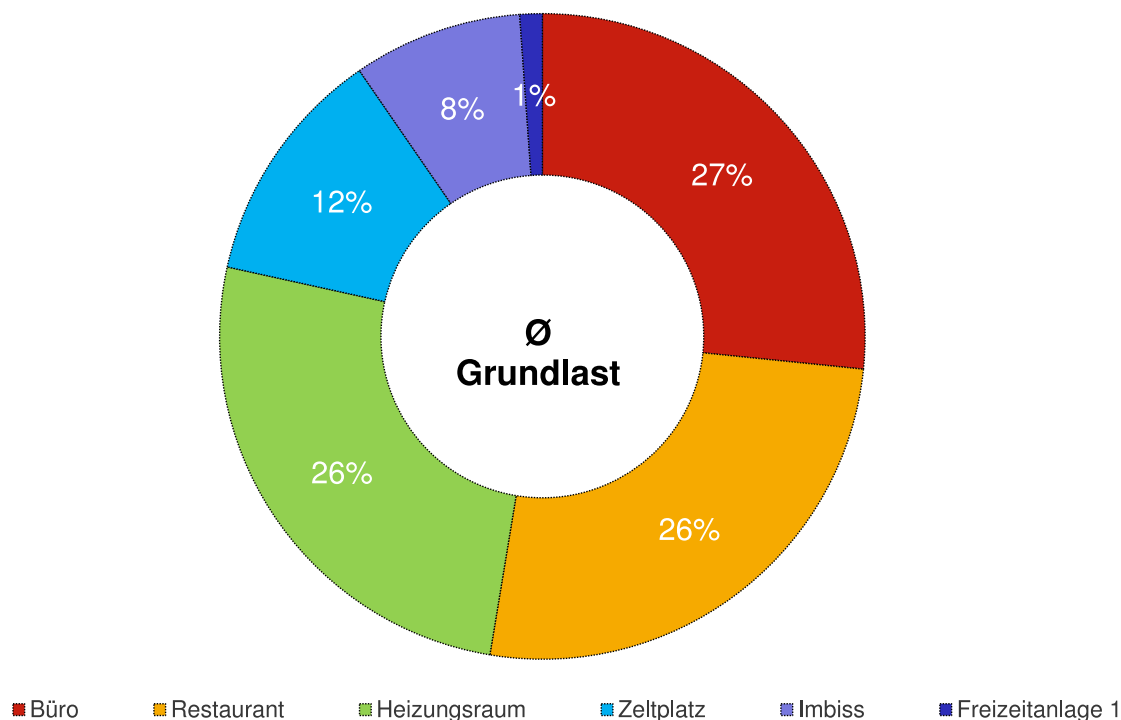


Abbildung 32: Anteile der durchschnittlichen Grundlast der Haupt- und Unterverteilungen sowie Einzelverbraucher an der Gesamtgrundlast des Freizeitbetriebes

Es wird deutlich, dass die Hauptverteilungen *Büro*, *Restaurant* und *Heizungsraum* in Summe knapp 80 % der Gesamtgrundlast ausmachen. Nur geringe Anteile sind den Verteilungen *Zeltplatz*, *Imbiss* sowie *Freizeitanlage 1* zuzuordnen und alle weiteren gemessenen Verteilungen wiesen keine nennenswerte Grundlast auf. Im Anschluss an diese Auswertung wurden die drei Hauptverteilungen *Büro*, *Restaurant* und *Heizungsraum* jeweils im Detail bis zur Verbraucher-ebene hin untersucht. In der Hauptverteilung *Büro* hat sich herausgestellt, dass die Unterverteilungen nicht nur Büroräume, sondern auch einen Shop-Bereich sowie Räumlichkeiten mit Sanitäreinrichtungen inkl. Duschräumen umfasst. So konnte durch eine weitere Messung der Unterverteilungen von *Büro* die hohe Grundlast zwei veralteten Motoren der Abluftanlage für die Duschräume sowie mehreren dezentralen Kühltruhen zugeordnet werden. An der Hauptverteilung *Restaurant* waren unmittelbar mehrere Küchengeräte, die u. a. auch nachts im Betrieb waren, für den hohen Grundlastverbrauch verantwortlich. In der Hauptverteilung *Heizungsraum* hat sich bei der Messung in der Unterverteilung gezeigt, dass dort die zentrale Kälteerzeugung (u. a. zur Kühlung von Waren für das Restaurant) eine hohe Grundlast verursacht. Diese Analysen haben für die grundsätzliche Methodik und Vorgehensweise auch deutlich gemacht, dass die

<sup>23</sup> Berechnet mit einem Bruttostrompreis von 21,8 ct/kWh.

Benennung der Haupt- und Unterverteilungen nicht unmittelbar mit den tatsächlich an der Verteilung angeschlossenen Verbrauchern übereinstimmen muss. So umfasste die Hauptverteilung Büro am Ende nicht nur Verbraucher eines Büro- und Verwaltungsbereichs, sondern auch einen Verkaufsbereich, Sanitärräume sowie Kühlräume. Oft hängt dies in der Praxis auch damit zusammen, dass elektrische Verteilungen am Standort historisch gewachsen sind.

Die Ergebnisse der Detailanalysen zur Grundlast in den Verteilungen haben gezeigt, dass anhand von Kurzzeitmessungen grundlastverursachende Verbraucher identifiziert werden können. Zwar konnten nicht bei allen Verbrauchern auch Einsparpotenziale identifiziert werden, aber letztendlich hat erst die Detailanalyse eine fundierte Grundlage für tatsächlich umzusetzende Effizienzmaßnahmen geliefert und dadurch auch die Quantifizierung der damit verbundenen Einsparungen ermöglicht.

Obwohl die Geschäftsführung ein hohes Bewusstsein für das Thema Energie hat, mit dem Elektriker Fachpersonal vor Ort ist und bereits einige Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt wurden, konnte die energetische Analyse mit der mobilen Messtechnik dementsprechend aus Sicht der Geschäftsführung und des Elektrikers wertvolle Hinweise liefern (Interview GF). Zentrale Themen aus Sicht des Freizeitbetriebs sind die Identifikation von **Hauptverbrauchern**, **Verbrauchsspitzen** sowie die **Detailanalyse der Unterverteilung** mit daran anschließender **Analyse der Grundlast**.

Die energetische Analyse mit mobilen Messköffern habe zunächst ermöglicht, Verbraucher mit besonders hohen Verbräuchen zu identifizieren. Daraus könne das Unternehmen konkrete Handlungsoptionen ableiten und die veralteten, ineffizienten Verbraucher durch effiziente Verbraucher ersetzen. Ohne die energetische Analyse mit dem mobilen Messkoffer wären die ineffizienten Verbraucher nicht in das Blickfeld des Unternehmens geraten.

Dementsprechend wird in der **Detailanalyse** mit Einbezug der Unterverteilung aus Sicht der Geschäftsführung ein wichtiger Mehrwert gesehen: „Obwohl es dann wichtig war [...] wirklich ins Detail zu schauen. Wenn das nicht gewesen wäre, dann wäre es auch schwer gewesen, dort etwas abzuleiten. Deswegen war es schon wichtig, nochmal im Detail zu schauen und der Sache auf den Grund zu gehen. Die Unterverbräuche aufzusplitten, zumindest mal in einem Bereich, damit man ein Gefühl dafür bekommt: ‚Ah ok, so sieht das wirklich aus.‘“

Außerdem wurde die Grundlast beleuchtet und dem Unternehmen aufgezeigt, dass Kostensparnisse auch bei nur geringer Reduktion der Grundlast über das Jahr gesehen lohnenswert werden können. Die Analyse habe geholfen, „[...] solche Sachverhalte erst mal wirklich zu realisieren.“

#### **4.1.4 Energiedatenvisualisierung mit VISEABLE**

Während des Anwendungstests im Freizeitbetrieb befand sich die Entwicklung von VISEABLE in einem relativ frühen Stadium. Die Architektur der Software befand sich noch in der ersten Iteration, wie sie in Kapitel 3.4.3 beschrieben worden ist, und das Hauptaugenmerk lag in der Implementierung von Funktionen. Zentral sind natürlich die Visualisierungen der Energie- und Lastdaten. Grundlegende Features, die in allen Plots zur Verfügung stehen und direkt zu Beginn von Kapitel 3.4.5 aufgelistet sind, waren vorhanden und auch viele Ansichten auf die eigentlichen Daten waren im Kern fertig implementiert. Die Visualisierung der Messungen aus dem Messkoffer war rudimentär ebenfalls vorhanden.

Im Rahmen der ersten Vor-Ort-Begehungen wurde dem Geschäftsführer und dem Elektriker eine kurze Einführung in VISEABLE gegeben, indem die Menüführung und einzelne Gesten am Rechner demonstriert wurden. Für das Fallbeispiel wurde die Anwendung zusätzlich online auf einen Server aufgespielt, damit die beteiligten Partner jederzeit darauf zugreifen können. Ein einfaches Passwort-Formular wurde zur Authentifizierung eingerichtet, um den Zugriff durch Unbefugte zu verhindern.

In dieser frühen Phase der Entwicklung war das Ziel herauszufinden, wie die Nutzererfahrungen hinsichtlich des Interface sind, sprich ob sich die Software intuitiv bedienen lässt. Darüber hinaus sollte Feedback gesammelt werden, um der weiteren Entwicklung der Software eine Richtung mitzugeben. Es muss wiederholt zwischen der Ausbesserung bereits vorhandener Funktionen und der Implementierung neuer Funktionen priorisiert werden, weswegen die Rückmeldung der Nutzenden ausschlaggebend sein kann. Der iterative Prozess zur Weiterentwicklung der Anwendung (s. Kapitel 2.2.2) konnte so durchgeführt werden.

Aus Sicht des Unternehmens hat die Visualisierung durch VISEABLE einen hohen Nutzen, weil energiespezifische Sachverhalte nachvollzogen und dadurch überhaupt erst bearbeitet werden können. So verdeutlicht der Elektriker: „[Durch VISEABLE] kann man dann Sachverhalte besser verstehen. Da kommt dann so ein Thema: zehn kW Grundlast, das steht dann da jetzt erst mal und man fragt sich: ‚wie kann das sein?‘ Was man dann damit macht: Man hat dann die Möglichkeit, da genauer zu gucken. Das braucht dann aber etwas Zeit“ (Interview EF). Grundsätzlich sieht der Geschäftsführer auch einen großen Nutzen darin, die Verbräuche im zeitlichen Verlauf überprüfen zu können (Interview GF).

Allerdings besteht aus Sicht des Unternehmens der Bedarf, dass die Daten durch Fachexperten wie im Rahmen des Forschungsprojektes ausgewertet bzw. interpretiert werden: „Das braucht es schon, auf jeden Fall. Also klar kann man sich da irgendwie rein denken. Aber es hilft natürlich schon, wenn man das von jemandem präsentiert bekommt, der da in der Materie tief drin ist.“

Dass die Notwendigkeit gesehen wird, eine Beratung ergänzend zu VISEABLE zu erhalten, könnte daran liegen, dass VISEABLE im Vergleich zu am Markt etablierter Visualisierungssoftware noch in einem vergleichsweise frühen Entwicklungsstadium ist. Grundsätzlich könnte dies jedoch auch darauf hinweisen, dass Feedbackfunktionen ein wichtiges Element für Energiemanagementsoftware darstellen, die die flankierende Beratung durch Experten möglichst gering halten könnten. Die Software sollte verdeutlichen können, welche Sachverhalte wichtig sind (z. B. Grundlast, Verbrauchsspitzen), die Sachverhalte verständlich machen und sie sollte aufzeigen können, welche Handlungsoptionen bestehen. Das bedeutet, dass eine Interpretationsleistung notwendig scheint, damit Unternehmen schnell und einfach Handlungsoptionen ableiten können. Die Personalkosten, die mit einer eingängigen flankierenden Beratung einhergehen könnten, könnten somit eine wichtige Barriere für die Nutzung von VISEABLE darstellen.

#### **4.1.5 Zwischenfazit: Effizienzpotenziale und Handlungsoptionen**

Die energetische Analyse ermöglichte es, wichtige Effizienzpotenziale zu identifizieren und sinnvolle Handlungsoptionen für den Freizeitbetrieb abzuleiten – trotz der bereits vorhandenen Kompetenz vor Ort durch den Elektriker und des hohen Bewusstseins der Geschäftsführung für den

Energiebereich. Die energetische Analyse mittels mobilem Messsystem ist in dem Anwendungskontext mit sehr diversen Nutzungsarten (u. a. Restaurant, Imbiss, Verkaufs-, Wohn- und Bürofläche, Freizeitanlage) problemlos möglich. Die vorgeschlagenen Maßnahmen machen es außerdem nicht erforderlich, dass weitergehende Verhaltensanpassungen der Mitarbeitenden notwendig werden, was aufgrund des in Teilen geringen Bewusstseins bei den Mitarbeitenden eine Barriere für entsprechende Maßnahmen darstellen könnte. Mit Hilfe der Visualisierungen von VISEABLE können die identifizierten "low hanging fruits" (Lastprofile, Grundlast, Lastspitzen) für Laien verständlich gemacht werden. Die Sachverhalte werden nachvollziehbar. Allerdings zeigt sich auch, dass detaillierte Analysen und Interpretationen Fachexpertise erfordern. Eine entsprechende Aufbereitung und Zusammenfassung der Ergebnisse wird von der Geschäftsführung als wichtig angesehen. Nachfolgend sind die zentralen Effizienzpotenziale und Handlungsoptionen zusammengefasst:

1. Die Analyse relevanter **Stromverbraucher** durch **Detailbetrachtung** der Lastprofile von Haupt- und Unterverteilungen bis hin zum Einzelverbraucher ermöglicht es, ineffiziente Verbraucher zu identifizieren, die im normalen Betrieb nicht in das Blickfeld des Unternehmens gekommen wären. Die Effizienzgewinne bei einem Austausch durch neue, effizientere Geräte werden mittels energetischer Analyse quantifizierbar und zeigen somit wichtige Handlungsoptionen zur Effizienzsteigerung sowie zur Kostenreduktion für das Unternehmen auf.
2. Die **Detailanalyse der Lastspitzen** ermöglicht es dem Unternehmen zunächst, den Sachverhalt nachzuvollziehen. So können die problematischen Zeiträume mit hohen Lasten sowie die für die Lastspitzen verantwortlichen Verbraucher identifiziert werden. Dadurch wird es dem Unternehmen anschließend möglich, gezielte Maßnahmen zur Reduktion von Lastspitzen durchzuführen.
3. Die **Detailanalysen der Grundlast** der Haupt- und Unterverteilungen sowie die Identifikation von Verbrauchern ermöglichen es dem Unternehmen wiederum zunächst zu verstehen, welche Grundlast vorliegt und welche Verbraucher für die Grundlast verantwortlich sind. Daraus können konkrete Handlungsoptionen abgeleitet werden: Im Falle des Freizeitbetriebs konnten z. B. zwei veraltete Motoren der Abluftanlage für die Duschräume identifiziert werden, die maßgeblich zur Grundlast beitragen und deswegen ersetzt werden sollten.

## 4.2 Fallbeispiel 2 – energetischer Vergleich und Benchmarking im Lebensmitteleinzelhandel

Das zweite Fallbeispiel illustriert die energetische Analyse und den energetischen Vergleich (Benchmark-Analyse) von drei Filialen im Lebensmitteleinzelhandel unter Anwendung des mobilen Messsystems sowie der Visualisierungssoftware VISEABLE. Dazu werden zunächst der Betrieb vorgestellt und allgemeine Punkte zum Thema Energie und Energieeffizienz aus Unternehmenssicht erläutert (Kapitel 4.2.1). Analog zu Fallbeispiel 1 werden in diesem Anwendungstest Erkenntnisse aus dem Einsatz des Messsystems sowie der Weiterentwicklung der Software VISEABLE dargelegt (Kapitel 4.2.2 und 4.2.3) und um die zentralen Eindrücke aus den Interviews mit dem Unternehmer ergänzt.

### 4.2.1 Ausgangslage: Betrieb und Einstellungen

Die drei Lebensmitteleinzelhandels-Filialen gehören einer größeren Einzelhandelskette an. Der Betrieb sowie die Organisation der Filialen obliegt jedoch einem Unternehmer, sodass die grundlegende Struktur sowie die Eigenschaften des Unternehmens (z. B. Mitarbeiterzahl, Umsatz) denen von mittelständischen Betrieben entspricht. Hinsichtlich der Gebäudestruktur sowie der Nutzungsart unterscheiden sich die drei Filialen kaum. Obwohl die Filialen aus jeweils einem Gebäude bestehen, lassen sich die Flächenanteile unterschiedlichen Nutzungsarten (z. B. Verkaufsfläche, Lagerfläche, Bürofläche) zuordnen. Lediglich hinsichtlich der Gebäudenutzfläche (m<sup>2</sup>) sowie der Kundenzahlen unterscheiden sich die drei betrachteten Filialen. Die energetischen Eckdaten wie der jährliche Energieverbrauch bzw. die jährlichen Energiekosten korrelieren mit diesen Kennzahlen. Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen den betrachteten Filialen war der Sanierungszustand. Alle Filialen wurden in den vergangenen fünf Jahren saniert, was auch der hohen Sanierungsquote im Lebensmitteleinzelhandel in Deutschland (7-10 %) entspricht (EHI Retail Institute, 2019). Auch die Beleuchtung war bereits in allen Filialen auf LED-Technik umgerüstet und die Kältetechnik-Anlagen entsprachen dem Stand der Technik (CO<sub>2</sub>-Kältetechnik-Anlagen mit Wärmerückgewinnung). Darüber hinaus war zum Zeitpunkt des Anwendungstests in einer der drei Filialen bereits eine Photovoltaik-Anlage installiert. Insgesamt hat sich hier gezeigt, dass alle Filialen über eine moderne technische Ausstattung verfügen. Somit befanden sich zum Zeitpunkt des Anwendungstests alle Filialen in einem insgesamt guten energetischen Zustand.

Der Geschäftsführer zeigt ein dementsprechend hohes Bewusstsein für den Themenkomplex. Aus Sicht des Geschäftsführers ist das Thema Energie ökonomisch höchst relevant. Der Energiebedarf sei hoch, insbesondere für Kühlung und Beleuchtung. Zentral seien bisher Umbaumaßnahmen in den Bereichen Kühlung und Wärme sowie die Umstellung auf LED: „Die effizientesten Maßnahmen, die ich ergriffen habe, sind generelle Neu- und Umbauten meiner Geschäfte. [Das] umstellen von der Technik von vor 10 Jahren auf heutige Technik – dann sparen Sie schon Strom ohne Ende. Weil z. B. bei Kühlmöbeln die Verbräuche dramatisch runtergegangen sind in den letzten 10 Jahren. Auch da ist natürlich die technische Entwicklung weitergegangen. Hinzu kommt: die Kühlmöbel verschleiß ja auch, d. h. die Effizienz leidet dann. Das kostet dann immer mehr Strom, um die gleiche Leistung zu haben.“ Daneben seien „dramatische Einsparungen“ durch Umstellung der Beleuchtung auf LED sowie Umbauten im Wärmebereich generiert worden.

Dagegen ist der Geschäftsführer eher skeptisch bezogen auf Smart Energy Produkte und Digitalisierung im Allgemeinen. Auch wenn er schon von vielen Möglichkeiten gehört hat, habe er sich noch nicht tiefergehend damit beschäftigt. Einerseits weil er bisher schlechte Erfahrungen mit Beratern gemacht habe und andererseits, weil er nicht selber die technische Kompetenz besitze, um beurteilen zu können, ob eine Anwendung tatsächlich die angepriesenen Effizienzgewinne erzielt. Auch habe ein Kollege schlechte Erfahrung mit einem Automationssystem zur Vermeidung von Lastspitzen gemacht: „Das System merkte, jetzt wird es langsam kritisch, dass zu viel Verbräuche dran sind, die schalte ich jetzt mal ab. Und der hat es doch wieder abgeschafft, weil es doch nicht so intelligent war, wie man es ihm verkauft hatte. Denn das schaltete einfach stumpf ab. Ob der Verbraucher jetzt gebraucht wurde, oder nicht [...]. Also wenn man da so einen Wächter drinnen hätte, der die Lastspitze kappen könnte... . Aber da müsste natürlich einer sein, der sich genau anguckt, welche Verbraucher sind alle dran, welche brauchen wir gerade.“

Der Umgang der Belegschaft mit den Energieverbräuchen wird von dem Geschäftsführer als sehr problematisch angesehen, es sei ein Dauerthema. Auch trotz Appellen und Gesprächen werde nicht darauf geachtet, sparsam mit der Energie umzugehen: „Solange das nicht ihr Geld kostet, ist denen das ziemlich egal. Eigentlich durch die Bank.“ So wurde beispielsweise eine Drittschaltung installiert, die dann aber nicht genutzt werde.

Bezüglich akzeptabler Amortisationszeiten von neuen technologischen Anwendungen entscheide der Geschäftsführer situativ und nicht nach festgelegten Zeiträumen. Allerdings dürfe die Amortisationszeit natürlich nicht länger sein als der Zeitraum, in dem das Investitionsgut genutzt werden kann.

#### **4.2.2 Energetischer Vergleich und Benchmarking mit mobiler Messtechnik**

Da im Zuge dieses Anwendungstests der energetische Vergleich der Filialen im Fokus stand, wurde das ursprünglich entwickelte Messkonzept (Kapitel 3.3) um die Benchmark-Analyse ergänzt. Die vor Ort erhobenen Messdaten dienen unter anderem dazu, Energiekennzahlen (engl.: energy performance indicators, EnPI) zu entwickeln und auf dieser Basis die Filialen hinsichtlich des energetischen Zustands zu vergleichen. Dazu wurden auch Literaturwerte für Energiekennzahlen aus dem Lebensmitteleinzelhandel hinzugezogen. Weiterhin wurden wie in Fallbeispiel 1 auch die Energieverbrauchsdaten aus dem Jahr 2018 in die Analyse einbezogen. Mit dem eingesetzten mobilen Messsystem wurden je Filiale die Haupt- und Unterverteilungen sowie Verbraucher erfasst. Die nachfolgende Abbildung stellt dazu schematisch die elektrische Verteilungsstruktur dar (s. Abbildung 33).

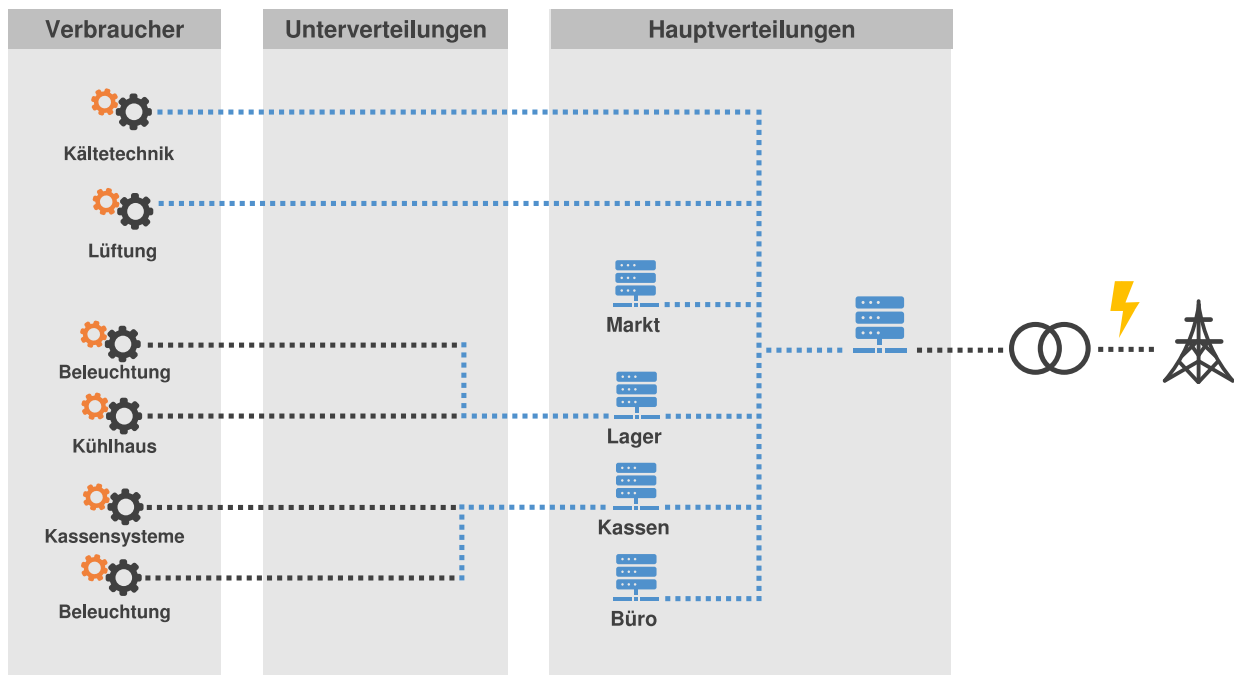


Abbildung 33: Schematische Darstellung der messtechnisch erfassten Haupt- und Unterverteilungen sowie Verbraucher im Lebensmitteleinzelhandel

Bei der Betrachtung der elektrischen Verteilung hat sich gezeigt, dass diese in allen Filialen ähnlich aufgebaut war. So konnten unter anderem die Hauptverteilungen *Markt*, *Lager*, *Kassen* und *Büro* gemessen werden. Die Hauptverteilungen Lager oder Kassen teilen sich weiterhin in kleinere Verbrauchergruppen (z. B. Beleuchtung, Kühlhäuser, Kassensysteme) auf. Diese wurden jedoch im Zuge der Messkampagnen nicht einzeln gemessen. Auf der Verbraucherebene waren die *Kältetechnik* sowie die *Lüftungsanlage* aufgrund des hohen Energieverbrauchs unmittelbar an die Hauptverteilung angeschlossen. Diese wurden somit als Einzelverbraucher messtechnisch erfasst.

Zunächst wurden in den Analysen wieder Referenzwochen gebildet, um die Anteile der Haupt- und Unterverteilungen sowie Verbraucher am Gesamtstromverbrauch zu bestimmen. Abbildung 34 stellt dazu die Ergebnisse aus den drei Filialen grafisch dar. In den Filialen A und C war es möglich, unmittelbar an der Niederspannungshauptverteilung mehrere Hauptverteilungen parallel zu erfassen. In Filiale B hingegen konnte zumindest der Einzelverbraucher *Kältetechnik* vom Stromverbrauch des *Marktes* separiert werden. Aufgrund der begrenzten Anzahl an Messkanälen konnten in Filiale C nicht alle elektrischen Verteilungen parallel gemessen werden. Der Anteil der *sonstigen Verbraucher* wurde daher aus der Differenz des Gesamtstromverbrauchs und der Summe der gemessenen Verteilungen virtuell berechnet.

Anhand der Ergebnisse in Abbildung 34 wird deutlich, dass die *Kältetechnik* den größten Anteil am Gesamtstromverbrauch der Filialen ausmacht (39-54 %). Dies stimmt auch mit Literaturwerten überein, wo ein durchschnittlicher Anteil der Kältetechnik am Gesamtstromverbrauch von 46 % angegeben wird (EHI Retail Institute, 2017). Auch die gemessenen Stromverbrauchsanteile der *Lüftungsanlage* in Filiale A und C stimmen mit Literaturwerten überein. Bei den elektrischen Verteilungen *Markt* oder *Kassen*, wo eine Vielzahl von elektrischen Verbrauchergruppen angeschlossen sind, wäre eine Detailanalyse nur über weitere Messungen in den jeweiligen Unterverteilungen möglich.

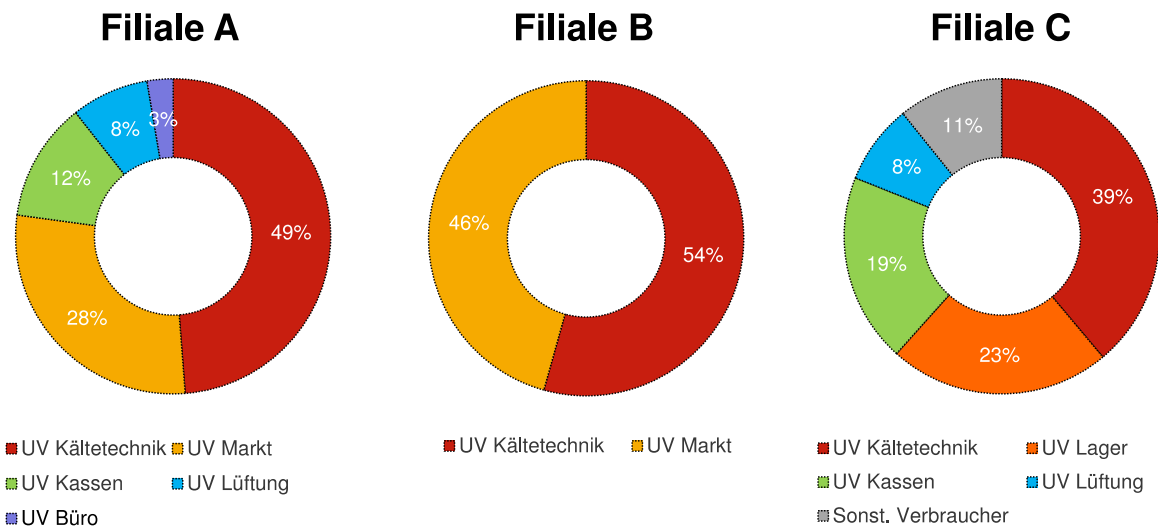


Abbildung 34: Anteile der Haupt- und Unterverteilungen sowie der Einzelverbraucher an der Referenzwoche der Filialen im Lebensmitteleinzelhandel

Basierend auf den vorhandenen Energiedaten sowie vor Ort erhobener Messdaten wurde anschließend ein energetischer Vergleich der drei betrachteten Filialen durchgeführt. In der folgenden Abbildung sind dazu die Ergebnisse der Analysen beispielhaft für die Bildung von Energiekennzahlen bezogen auf die Verkaufsfläche (m<sup>2</sup>) dargestellt (s. Abbildung 35).

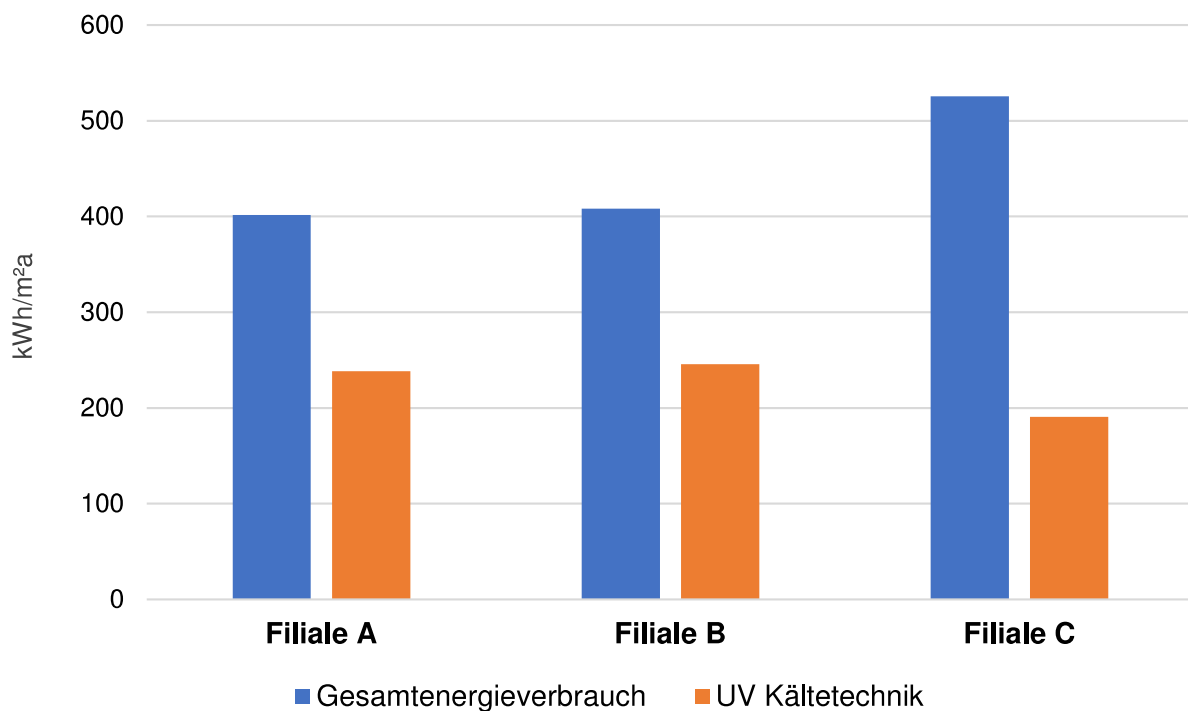


Abbildung 35: Bildung von Energiekennzahlen bezogen auf die Verkaufsfläche (m<sup>2</sup>) der Filialen im Lebensmitteleinzelhandel

Die Bildung der Kennzahlen für den *Gesamtenergieverbrauch* (blaue Balken) basiert auf den Energieverbrauchsdaten der vergangenen Jahre. Die Kennzahlen für die *Kältetechnik* (orange-farbene Balken) hingegen basieren auf dem gemessenen Energieverbrauch der jeweiligen Kältetechnik-Anlage in den Filialen. Anhand der Grafik wird deutlich, dass Filiale C den höchsten Gesamtenergieverbrauch pro m<sup>2</sup> Verkaufsfläche aufweist. Die Auswertungen haben ergeben,

dass dies auf den hohen Wärmeverbrauch der Filiale zurückzuführen ist. Darüber hinaus ist in Filiale C die älteste Gebäudetechnik (u. a. Kältetechnik-Anlage, Lüftungsanlage) verbaut. Die Kennzahlen der Filialen A und B entsprechen dem Durchschnittswert aus der Literatur (401 kWh/m<sup>2</sup>a) (EHI Retail Institute, 2017).

Bei den Kennzahlen für den Verbrauch der Kältetechnik-Anlagen liegen die Filialen deutlich enger beieinander. Während die Filialen A und B bei etwa 240 kWh/m<sup>2</sup>a liegen, weist Filiale C mit etwa 190 kWh/m<sup>2</sup>a den geringsten Wert für diese Energiekennzahl auf. Dies lässt sich damit begründen, dass die Filialen A und B über moderne Wärmerückgewinnungssysteme verfügen, die sich auch merklich auf den Stromverbrauch der Kältetechnik-Anlagen auswirken. In Filiale C hingegen muss aufgrund des kleiner dimensionierten Wärmerückgewinnungssystems ein Großteil des Wärmebedarfs der Filiale über einen Gaskessel bereitgestellt werden. Dies wirkt sich, wie bereits beschrieben, auf die Kennzahl des Gesamtenergieverbrauchs der Filiale aus (s. Abbildung 35).

Zusammenfassend haben die Ansätze zur Benchmark-Analyse basierend auf dem Einsatz eines mobilen Messsystems aufgezeigt, dass die Bildung von Energiekennzahlen bezogen auf einzelne Verbrauchergruppen (z. B. Kältetechnik-Anlagen) basierend auf Kurzzeitmessungen möglich ist. Da sich diese Kennzahlen nur auf den Energieverbrauch der gemessenen Verbrauchergruppe beziehen, können deutlich detailliertere Aussagen über den energetischen Zustand einer Verbrauchergruppe getroffen werden. Darüber hinaus ist mit verbrauchergruppenspezifischen Kennzahlen auch ein branchenübergreifender energetischer Vergleich von Querschnittstechnologien beispielsweise für den Lebensmitteleinzelhandel möglich. Anhand dieser Benchmarks könnten im Zuge von Kurzzeitmessungen unmittelbare Aussagen über den energetischen Zustand von Querschnittstechnologien wie Kältetechnik-Anlagen im Lebensmitteleinzelhandel getroffen werden. In diesem Fallbeispiel wurde jedoch auch deutlich, dass in der Literatur noch keine Benchmarks für solche verbrauchergruppenspezifische Kennzahlen vorliegen. Stattdessen gibt es lediglich Kennzahlen, die auf den Gesamtenergieverbrauch (bspw. für den Lebensmitteleinzelhandel) bezogen sind. Solche Benchmarks lassen jedoch nur einen groben energetischen Vergleich der Filialen ohne Detailanalysen zu den großen Einzelverbrauchern zu.

Daher wurden aus diesem Anwendungstest auch Ansätze für zukünftige Messkampagnen abgeleitet. So können die Benchmark-Analysen basierend auf mobiler Messtechnik in weiteren Messkampagnen um Regressionsanalysen (angelehnt an die DIN EN ISO 50006) sowie die Berücksichtigung der Eigenschaften saisonal fluktuierender Verbrauchergruppen erweitert werden.

Das Unternehmen hat bereits vor der energetischen Analyse kontinuierlich zahlreiche Neu- und Umbauten durchgeführt, wodurch erhebliche Effizienzpotenziale gehoben werden konnten. Trotz des hohen Problembewusstseins und der vielen Maßnahmen habe die im Zuge des Forschungsprojektes durchgeführte energetische Analyse aus Sicht des Geschäftsführers hilfreiche Erkenntnisse liefern können. Zentrale Erkenntnisse seien die Identifikation „vieler kleiner Stellschrauben“, die insgesamt relevante Einsparungen ermöglichen, die **Reduktion von Lastspitzen durch PV-Anlagen**, sowie die **Quantifizierung von Effizienzgewinnen** durch bisherige Neu- und Umbaumaßnahmen.

So sieht der Geschäftsführer den Mehrwert der energetischen Analyse erstens darin, dass sich ein neues Problembewusstsein bei ihm entwickelt habe. Konkret sei ihm deutlich geworden, dass auch durch viele kleine Stellschrauben weitere maßgebliche Effizienzgewinne möglich seien –

„um dann über die Menge eine nennenswerte Eurozahl auf die Kette zu bringen.“ Zweitens sei insbesondere die Relevanz der PV-Anlagen für die Vermeidung von Lastspitzen eine zentrale neue Erkenntnis, aus welcher der Geschäftsführer direkte Handlungsoptionen ableiten könne: „Interessant bei der Analyse war, dass bei zwei der Märkten die Lastspitze im Jahr 2018 am selben Tag war – einmal um 13:15 Uhr, einmal um 14:15 Uhr. Das war die Lastspitze für das Jahr. Demgegenüber war die Lastspitze in dem dritten Markt an einem anderen Tag – um 6:15 Uhr. Inzwischen weiß ich warum, das haben sie mir erklärt. Das liegt daran, weil wir durch die PV in dem Markt die Lastspitzen etwas nivellieren können und das gelingt morgens früh natürlich nicht, weil es dunkel ist. Da kann die PV noch nicht gegensteuern. Aber im heißen Sommer hatten die beiden Märkte ohne PV fast zeitgleich die Lastspitze. Daraus ist abzuleiten: Warum soll PV nicht auch bei den anderen Märkten aufgestellt werden?“ Dadurch verändere sich auch die Perspektive des Geschäftsführers auf die Amortisationszeit von PV-Anlagen, da er den Aspekt, dass durch die PV-Anlagen Lastspitzen reduziert werden können, bisher nicht berücksichtigt habe. Drittens wird über die zeitliche Analyse der Verbräuche quantifizierbar, welche Effizienzgewinne durch bereits umgesetzte Neu- und Umbaumaßnahmen tatsächlich erzielt wurden.

### **4.2.3 Energiedatenvisualisierung mit VISEABLE**

Für das zweite Fallbeispiel kam eine Version von VISEABLE zum Einsatz, die im Vergleich zur Version aus dem ersten Fallbeispiel etliche Weiterentwicklungen beinhaltet. Allen voran ist die neue Software-Architektur zu nennen (s. Kapitel 3.4.4). In dem Zuge wurden verschiedene Software-Bibliotheken ausgetauscht bzw. neu eingeführt, sodass auch die Benutzeroberfläche und die Menüführung vereinheitlicht und nach Möglichkeit noch zugänglicher gestaltet wurden. Die Performance der Anwendung wurde durch die neuen Komponenten weiter verbessert.

Aufgrund der neuen Software-Architektur mussten zunächst die Funktionen aus der alten Version zur neuen Version portiert werden. Dabei wurden die Ansichten für die EVU-Daten priorisiert, sodass die Analyse der Daten aus den Messungen mit der mobilen Messtechnik nicht mit VISEABLE durchgeführt werden konnte. Stattdessen wurden neue Ansichten implementiert, die dem Vergleich verschiedener Zeiträume und -fenster dienen. Auf diese Weise kann noch besser erfasst werden, ob und in welchem Maße sich Maßnahmen auf die Energie- und Lastdaten ausgewirkt haben. Zudem wurde die Möglichkeit geschaffen, die Betriebs- und Ruhezeiten einzugeben, damit die Grundlast noch genauer angezeigt und beziffert werden kann.

Dem Geschäftsführer wurde ein Zugang zur Anwendung zur Verfügung gestellt, die wieder online zugreifbar gemacht wurde, um jederzeit genutzt werden zu können. Dieses Mal wurden keine näheren Erläuterungen zur Nutzung des Programms gemacht, damit der Geschäftsführer die Software ohne vorige Einflussnahme erfassen kann. So konnte einerseits Feedback gesammelt werden, wie intuitiv die Benutzeroberfläche ist, und andererseits, ob durch die Visualisierungen (weitergehende) Erkenntnisgewinne zustande kommen.

Der Geschäftsführer macht deutlich, dass die energetische Analyse sehr interessante Einsichten ermöglicht: „Ich habe aus dem Tool auf die Schnelle die Lastspitzenthematik erfasst. Die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten, z. B. bezogen auf einzelne Läden oder zusammengefasst, das ist sehr gut und sehr tiefgehend.“ Allerdings sei die energetische Analyse insgesamt so umfangreich, dass sie nicht in allen Einzelheiten nachzuvollziehen sei. „Das Problem bei der

Messung ist: an sich ist das schön. Aber wenn man niemanden hat, der das auswertet, dann ist das auch blöd. Das heißt: man müsste irgendeinen Fachmann haben, der einmal im Monat oder im viertel Jahr oder einem halben Jahr, der sagt: das hast du veranstaltet, das hat das für Konsequenzen und du solltest dir mal diese oder jene Maßnahme überlegen. Das könnte natürlich dabei rauskommen. Aber da ist die Frage: Was kostet das? Und welche Einsparungen kann das bringen? Da kommt wieder die kaufmännische Thematik ins Spiel.“ Deswegen habe sich die übersichtliche Zusammenfassung, die im Rahmen der energetischen Analyse erarbeitet wurde, als besonders hilfreich herausgestellt. Weil letztlich die kaufmännische Perspektive handlungsleitend sei, wäre es zudem besonders hilfreich, wenn die zusammengefassten Ergebnisse der energetischen Analyse sowie die erarbeitete Handlungsoptionen in ihrer kaufmännischen Bedeutung aufbereitet würden. Als Barriere für die Umsetzung der im Rahmen der energetischen Analyse vorgeschlagenen Maßnahmen wird von dem Geschäftsführer das Mieter-Vermieter Dilemma angeführt. Da die beiden Läden ohne PV-Anlagen nur gepachtet sind, sei dem Geschäftsführer unklar, inwiefern die Ausstattung mit PV wirtschaftlich möglich wäre. Inwiefern würde der Vermieter profitieren und lohnt es sich dann für den Geschäftsführer überhaupt noch? Das sei ihm nicht klar. Alleine die „Energieeffizienz betrachtend“ sei es allerdings „[...] überhaupt keine Frage, da muss man morgen mit anfangen die PV aufzubauen.“

#### 4.2.4 Zwischenfazit: Effizienzpotenziale und Handlungsoptionen

Das Fallbeispiel der drei Filialen im Lebensmitteleinzelhandel illustriert die energetische Analyse und den energetischen Vergleich (Benchmark-Analyse) unter Anwendung des mobilen Messsystems sowie der Visualisierungssoftware VISEABLE. Trotz der für den Lebensmitteleinzelhandel typischen regelmäßigen Sanierungsmaßnahmen, dem dementsprechend guten Sanierungszustand der Filialen und trotz des hohen Problembewusstseins beim Unternehmer, liefern die energetische Analyse und der energetische Vergleich einen wichtigen Beitrag zur weiteren Optimierung der Energieeffizienz.

Durch die Benchmarking-Analyse konnten konkrete **Effizienzpotenziale** und **Handlungsoptionen** abgeleitet werden:

1. Einerseits ermöglicht die Benchmarking-Analyse den Vergleich mit branchenüblichen Verbrauchswerten und Kennzahlen. Es zeigt sich, dass die Filialen mit Literaturwerten weitestgehend übereinstimmen. Der Vergleich der einbezogenen Filialen zeigt allerdings, dass der relativ höhere Gesamtenergieverbrauch pro m<sup>2</sup> einer Filiale auf deren hohen Wärmeverbrauch zurückzuführen ist.
2. Durch den Vergleich der Lastspitzen der Filiale mit PV-Anlage mit den Filialen ohne PV-Anlage wird dem Unternehmer verdeutlicht, dass PV-Anlagen einen maßgeblichen Einfluss auf das Verbrauchs- bzw. Lastprofil einer Filiale haben und somit auch erheblich zur **Reduktion von Lastspitzen** beitragen können. Dieser Effekt war dem Unternehmer vorher nicht bewusst und verweist neben den Einsparungen durch selbst erzeugten PV-Strom auf zusätzliche Einsparpotenziale durch PV-Anlagen in Bezug auf die Energiekosten.
3. Die Benchmarking-Analyse auf Basis von Kurzzeitmessungen macht es zudem möglich, verbrauchergruppen-spezifische Benchmarks (z. B. für Querschnittstechnologien wie

Kältetechnik-Anlagen) zu erstellen. Die Bildung dieser Benchmarks lässt einen detaillierteren energetischen Vergleich der Querschnittstechnologien in den Filialen des Lebensmitteleinzelhandels zu. Darüber hinaus können anhand dieser Benchmarks Effizienzgewinne von bereits durchgeführten Maßnahmen quantifiziert werden.

Auf Grundlage der energetischen Analyse entwickelte der Unternehmer zudem insofern ein neues Problembewusstsein, als auch die Identifikation „vieler kleiner Stellschrauben“ zusammengekommen relevante Einsparungen generieren könnten.

Zusammenfassend haben die Ansätze zur Benchmark-Analyse basierend auf dem Einsatz eines mobilen Messsystems aufgezeigt, dass die Bildung von Energiekennzahlen bezogen auf einzelne Verbrauchergruppen (z. B. Kältetechnik-Anlagen) basierend auf Kurzzeitmessungen möglich ist. Da sich diese Kennzahlen nur auf den Energieverbrauch der gemessenen Verbrauchergruppe beziehen, können deutlich detailliertere Aussagen über den energetischen Zustand einer Verbrauchergruppe getroffen werden. Darüber hinaus ist mit verbrauchergruppenspezifischen Kennzahlen auch ein branchenübergreifender energetischer Vergleich von Querschnittstechnologien beispielsweise für den Lebensmitteleinzelhandel möglich. Anhand dieser Benchmarks könnten im Zuge von Kurzzeitmessungen unmittelbare Aussagen über den energetischen Zustand von Querschnittstechnologien wie Kältetechnik-Anlagen im Lebensmitteleinzelhandel getroffen werden. In dem Fallbeispiel Lebensmitteleinzelhandel wurde jedoch auch deutlich, dass in der Literatur noch keine Benchmarks für solche verbrauchergruppenspezifischen Kennzahlen vorliegen. Stattdessen gibt es lediglich Kennzahlen, die auf den Gesamtenergieverbrauch (bspw. von Filialen im Lebensmitteleinzelhandel) bezogen sind. Solche Benchmarks lassen jedoch nur einen groben energetischen Vergleich der Filialen ohne Detailanalysen zu den großen Einzelverbrauchern zu.

## 5 Fazit und Ausblick

Die erheblichen Effizienz- und Verbrauchsreduktionspotenziale von KMU werden aktuell nicht umfänglich genutzt. Smarte Technologien könnten KMU dabei unterstützen, diese Potenziale zu realisieren.

Das über die Projektlaufzeit hinweg kontinuierlich durchgeführte Technologie-Screening zeigt, dass ein breites Angebot an smarten Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement in Unternehmen marktseitig gegeben ist. Unter Berücksichtigung der im Projekt entwickelten KMU-Kriterien (geringer Installationsaufwand, gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis; vgl. Kapitel 2.1) bietet der Markt aktuell jedoch nur wenige Lösungen, die spezifisch für KMU sinnvoll sind. Um das volle Potenzial für Energieeffizienz sowie Energie- und Lastmanagement zu erschließen, müssen zukünftig weitere bezahlbare und ohne großen Aufwand umsetzbare Lösungsansätze für KMU entwickelt und in der Praxis umgesetzt werden. Der in diesem Forschungsprojekt entwickelte Lösungsansatz setzt an dieser Stelle an.

Auf Basis des Technologie-Screenings, Unternehmer-Befragungen sowie Vor-Ort-Begehungen wurde ein Lösungsansatz zur systematischen und strukturierten Effizienzanalyse von KMU mit dem Einsatz mobiler Messtechnik entwickelt. Die Wahl fiel dabei auf ein mobiles Messsystem, da der Einsatz eines solchen Systems in Unternehmen unter geringem Installationsaufwand möglich ist und mit der Schaffung von Transparenz über die Energie- und Lastflüsse im Unternehmen ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis vorliegt. Mit dem Ziel, diesen Lösungsansatz systematisch zu strukturieren und zu vereinfachen, wurde im Zuge der Anwendungstests und der einbezogenen Fallbeispiele ein universelles Messkonzept erarbeitet. Dieses Messkonzept umfasst die Methodik und Vorgehensweise zum Einsatz eines mobilen Messsystems zur elektrischen Wirkleistungsmessung in Unternehmen.

Im Vorfeld und parallel zum Anwendungstest wurde zudem die Softwareanwendung VISEABLE konzipiert und entwickelt, die zusammen mit dem mobilen Messsystem zum Einsatz kommt. Hierfür wurde die interaktive Visualisierung der Energie- und Lastdaten als zentrale Funktion der Anwendung ausgemacht, um die energetische Analyse zu unterstützen und dem Endanwender die erhobenen Messdaten zugänglicher zu machen. Für die Entwicklung wurden Software-Bibliotheken eingesetzt, die auf die Anforderungen der Anwendung zugeschnitten sind. Als Beispiel seien Zeitreihen genannt, die bei der Messung entstehen und eine spezielle Datenhaltung benötigen. So konnte in angemessener Zeit qualitative Software entwickelt werden, die für spätere Zwecke auch erweiterbar und skalierbar bleibt. Schließlich ist eine Webanwendung entstanden, die auf prinzipiell jedem Endgerät verwendbar ist und bei der Nutzung möglichst niedrige Hürden für Anwender\*innen aufweist, um so auch Mehrwerte für unerfahrene Personen aus KMU zu erzeugen.

Die im Rahmen des Projektes betrachteten Fallbeispiele haben deutlich gemacht, dass die energetische Analyse mittels mobilem Messsystem in einem Anwendungskontext mit sehr vielen diversen Nutzungsarten (u. a. Restaurant, Imbiss, Verkaufs-, Wohn- und Bürofläche) problemlos möglich ist. Darüber hinaus konnten mit Hilfe der Visualisierungen von VISEABLE die in den Unternehmen identifizierten "low hanging fruits" (Lastprofile, Grundlast, Lastspitzen) für Laien verständlich gemacht werden. So wurden zum einen Sachverhalte nachvollziehbar. Zum ande-

ren zeigte sich aber auch, dass detaillierte Analysen und Interpretationen Fachexpertise erfordern. Die Analysen ermöglichten es, ineffiziente Stromverbraucher zu identifizieren und Detailanalysen zu Lastspitzen sowie zur Grundlast durchzuführen. Zusammenfassend konnten den einbezogenen Unternehmen dadurch mit Einsatz mobiler Messtechnik Effizienzpotenziale und praxistaugliche Handlungsoptionen aufgezeigt werden.

Des Weiteren haben die Ansätze zur Benchmark-Analyse basierend auf dem Einsatz des mobilen Messsystems aufgezeigt, dass die Bildung von Energiekennzahlen bezogen auf einzelne Verbraucherguppen (z. B. Kältetechnik-Anlagen) auf der Basis von Kurzzeitmessungen möglich ist. Da sich diese Kennzahlen nur auf den Energieverbrauch der gemessenen Verbraucherguppe beziehen, können deutlich detailliertere Aussagen über den energetischen Zustand einer Verbraucherguppe getroffen werden. Darüber hinaus ist mit verbrauchergruppenspezifischen Kennzahlen auch ein branchenübergreifender energetischer Vergleich von Querschnittstechnologien (beispielsweise für den Lebensmitteleinzelhandel) möglich. Anhand dieser Benchmarks könnten im Zuge von Kurzzeitmessungen unmittelbare Aussagen über den energetischen Zustand von Querschnittstechnologien wie Kältetechnik-Anlagen im Lebensmitteleinzelhandel getroffen werden. In dem Fallbeispiel Lebensmitteleinzelhandel wurde jedoch auch deutlich, dass in der Literatur noch keine Benchmarks für solche verbrauchergruppenspezifischen Kennzahlen vorliegen. Stattdessen gibt es lediglich Kennzahlen, die auf den Gesamtenergieverbrauch bezogen sind (bspw. von Filialen im Lebensmitteleinzelhandel) und nur einen groben energetischen Vergleich der Filialen ohne Detailanalysen zu den großen Einzelverbrauchern zulassen.

Das Forschungsprojekt zeigt, dass der Einsatz des mobilen Messsystems in Kombination mit VISEABLE und fachlicher Beratung wichtige Mehrwerte für KMU bietet, damit diese vorhandene Effizienzpotenziale erkennen und heben können. In der Regel verfügen KMU aktuell über keine Infrastruktur zur detaillierten Erfassung und Auswertung von Energieflüssen. Eine solche Infrastruktur dürfte perspektivisch mit dem Smart Meter Rollout etabliert werden, an die dann Visualisierungssoftware wie VISEABLE anknüpfen kann. Da KMU aktuell meistens nicht mit Smart Metern und entsprechender Visualisierungssoftware ausgestattet sind, bietet die sehr flexible Einsatzmöglichkeit des mobilen Messsystems eine erfolgversprechende Handlungsoption für KMU. Der im Bericht vorgestellte Lösungsansatz zur systematischen und strukturierten Effizienzanalyse ermöglicht zudem eine standardisierte Vorgehensweise, die flächendeckend bei KMU zum Einsatz kommen kann.

## 6 Referenzen

- Berger, S., Ebeling, F., Feldhaus, C., Löschel, A. & Wyss, A. M. (2022). What motivates smart meter adoption? Evidence from an experimental advertising campaign in Germany. *Energy Research & Social Science*, 85, 102357. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102357>
- BMWi (Hrsg.). (2019, 18. Dezember). *Energieeffizienzstrategie 2050*.
- Book, M., Gruhn, V. & Striemer, R. (2017). *Erfolgreiche agile Projekte*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53330-7>
- Brüggemann, A. (2005). *KfW-Befragung zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen*. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Sonderpublikation.pdf>
- Buchanan, K., Banks, N., Preston, I. & Russo, R. (2016). The British public's perception of the UK smart metering initiative: Threats and opportunities. *Energy Policy*(91), 87–97.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (2012). *Energiemanagementsysteme in der Praxis: ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen*.
- C. Baedeker, C. Liedtke, M. J. Welfens (Hrsg.). (2017). *Green Economy as a Framework for Product-Service Systems Development: The Role of Sustainable Living Labs*. Springer International Publishing AG.
- C. Schipplick. (2017). *Einbeziehung lokaler Unternehmen in die Umsetzung energie- und klimapolitischer Ziele* [Master Thesis].
- Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E. & Sovacool, B. (2018). Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. *Energy Research & Social Science*, 37, 175–190. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.015>
- Chou, J.-S. & Yutami, G. A. N. (2014). *Smart meter adoption and deployment strategy for residential buildings in Indonesia*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914004462?via%3Dihub>
- EHI Retail Institute (Hrsg.). (2017). *EHI-Studie: Energiemanagement im Einzelhandel 2017: Forschungsergebnisse zur Energieeffizienz im Einzelhandel*.
- Ellguth, P., Kohaut, S. & Möller, I. (2014). The IAB Establishment Panel - methodological essentials and data quality. *Journal for Labor Market Research*(47), 27–41.
- EnergieAgentur.NRW (Hrsg.). (2018). *Energiemanagement: Energieeffizienz mit System*. Richtlinie 2012/27/EU (2012).
- Fawcett, T. & Hampton, S. (2020). Why & how energy efficiency policy should address SMEs. *Energy Policy*, 140, 111337. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111337>
- Fischer, G., Janik, F., Müller, Dana & Schmucker, A. (2009). The IAB Establishment Panel – things users should know. *Schmollers Jahrbuch. Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*, 129, 133–148.
- Fleiter, T., Schleich, J. & Ravivanpong, P. (2012). Adoption of energy-efficiency measures in SMEs—An empirical analysis based on energy audit data from Germany. *Energy Policy*, 51, 863–875. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.041>
- (2018). *Energieeffizienz 360°*. Gildemeister Energy Efficiency GmbH.

- Hein, M., Mischo, V. & Hofmann, M. (2018, 16. Februar). *Die Kompetenzstelle Energieeffizienz Ostwürttemberg - Ein Beitrag zur Energiewende*. Hochschule Aalen - Technik und Wirtschaft.
- Herbst, A., Jochem, E., Idrissova, F., John, F., Lifschitz, I., Lösch, O., Mai, M., Reitze, F. & Toro, F. (2013). *Energiebedarf und wirtschaftliche Energieeffizienz-Potentiale in der mittelständischen Wirtschaft Deutschlands bis 2020 sowie ihre gesamtwirtschaftlichen Wirkungen*. Karlsruhe, Berlin.
- Hesselbach, J. (2012). *Energie- und klimaeffiziente Produktion: Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele*. Vieweg+Teubner Verlag.
- IfM Bonn - Institut für Mittelstandsforschung. (2017). *Digitalisierungsprozesse von KMU im Verarbeitenden Gewerbe*.
- Jaffe, A. & Stavins, R. N. (1994). The Energy-Efficiency Gap: What does it mean?
- Kephart, J. & Chess, D. M. (2003). The Vision Of Autonomic Computing. *Computer*, 36, 41–50. <https://doi.org/10.1109/MC.2003.1160055>
- Martin Pehnt. (2010). *Energieeffizienz: Ein Lehr- und Handbuch*. Springer-Verlag.
- Mattes, K. & Jäger, A. e. a. (2017). *Energieeffizienz im Betriebsalltag: Chancen durch Energiemanagement und Qualifikation*.
- PwC. (2015). *Energiewende im Mittelstand*. <https://www.pwc.de/de/mittelstand/assets/befragung-energiewende-im-mittelstand.pdf>
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2019). *Indikator: Energieverbrauch der Industrie*. <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-energieverbrauch-der-industrie#textpart-1>
- VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU) (2018). *VDI 4602 - Energiemanagement Grundlagen (Blatt 1)*.
- Weber, T., Bertschek, I., Ohnemus, J. & Ebert, M. (2018). *Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2018*. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2018-langfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/monitoring-report-wirtschaft-digital-2018-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=4)
- Wolfgang Schellong. (2016). *Analyse und Optimierung von Energieverbundsystemen*. Springer Berlin Heidelberg.