

# DIGITALE ENERGIEENTZUGUNG ZUR ERHÖHUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH INTERAKTIVE VERNETZUNG

Shengjuan Wang<sup>1</sup>, Max Huber<sup>2</sup>, Nikolai Körber<sup>1</sup>, Diana Hehenberger-Risse<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HAW Landshut, Am Lurzenhof 1 84036 Landshut, Tel: +49 (0)871 - 506 656,  
[diana.hehenberger-risse@haw-landshut.de](mailto:diana.hehenberger-risse@haw-landshut.de), [www.haw-landshut.de](http://www.haw-landshut.de)

<sup>2</sup> SEHLHOFF GmbH, Schönaustraße 36, 84036 Landshut, Tel: +49 (0)871 - 430 940,  
[max.huber@sehlhoff.eu](mailto:max.huber@sehlhoff.eu), [www.sehlhoff.eu](http://www.sehlhoff.eu)

## **Kurzfassung:**

Damit Deutschland seine energie- und umweltpolitischen Ziele erreichen kann, müssen der Energieverbrauch und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch sinken. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Energiemanagementsystems zur Sektorenkopplung in Anlehnung an den ISO Norm-Standard, das Unternehmen und Regionen als Werkzeug dienen und helfen soll, die geforderte Energiewende umzusetzen. Dazu werden in Echtzeit der Energie- und Ressourcen-Bedarf sowie das Angebot mehrerer Gebäudekomplexe in Niederbayern unter Berücksichtigung der Wetterprognosen zu einem ganzheitlichen System vernetzt. Unter Einsatz von Maschinellen Lernen werden darauf aufbauend Algorithmen zur Prognose und Identifikation von Einsparpotentialen sowie Betriebsfehlern (Anomalien) entwickelt, um automatisiert bestehende Energieerzeugungs- und Verteilstrukturen effizienter zu nutzen und zu entlasten.

**Keywords:** Energiemanagementsystem, Sektorenkopplung, Vernetzung, Cloud-Computing, Maschinelles Lernen, Benutzerakzeptanz

## **1 Einführung**

### **1.1 Motivation**

Die Steigerung der Energieeffizienz als Indikator für eine nachhaltige Energieversorgung ist ein wichtiger Baustein für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende zur Erreichung der energie- und umweltpolitischen Ziele der Bundesregierung. Hierzu zählen zum Beispiel die Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 50% bis 2050 (Basisjahr 1990) [1] mit dem Ziel, die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 % zu senken. Diese Ziele werden derzeit nur ansatzweise erreicht. Um Energieeffizienzpotentiale heben zu können, ist die genaue Kenntnis des aktuellen Energie- und Ressourcenverbrauchs/-bedarfs sowie das gleichzeitige Erzeugungs-/Ressourcenangebot, die Energieverteilung - das Zusammenspiel der Akteure notwendig.

Derzeit existiert eine Vielzahl von Einzelsoftwareanwendungen für Systemmodellierungen, Energiemanagementsysteme, Umweltmanagementsysteme und Geoinformationssysteme sowie für die Ökobilanzerstellung. Die verwendete Datengrundlage bezieht sich hier meist auf Zeiträume aus der Vergangenheit. Weiterhin fehlt die Möglichkeit zur ganzheitlichen Visualisierung. Die einzelnen Systeme sind nicht sektorenübergreifend zu einem Gesamtsystem verknüpft und eignen sich daher nur unzureichend als städtebauliches Instrument für eine energie- und ressourcenoptimierte Steuerung und Planung mit dem Ziel der Effizienzsteigerung.

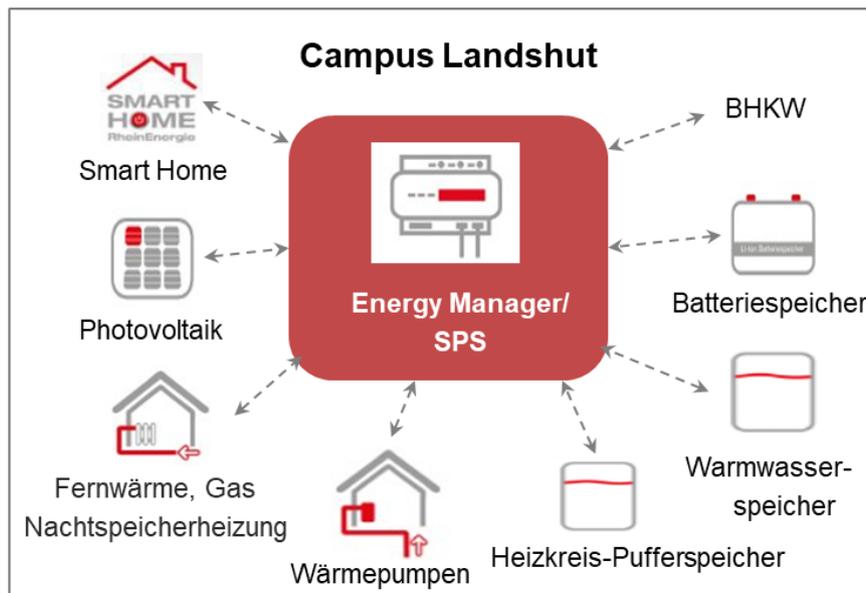


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Sektorenkopplung am Campus Landshut

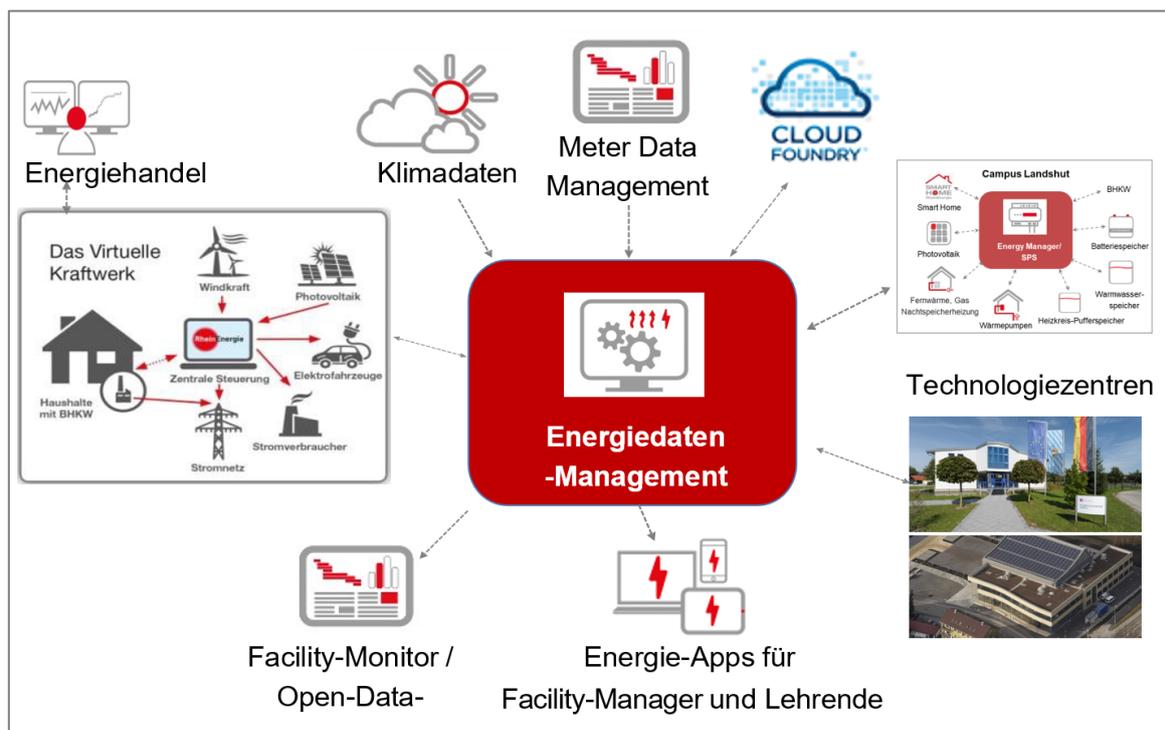


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Sektorenkopplung mit Hilfe des Energiemanagementsystems

In dem vorliegenden Projekt soll das Energieeffizienzsteigerungspotential (50%+) übergeordnet – am Beispiel des Drei-Bäder-Ecks Niederbayern erreicht werden. Hierzu erfolgt die interaktive digitale Vernetzung der Akteure - Gemeinde, Gewerbe, Private, Energieversorger mittels dem zu entwickelnden Energieeffizienzmanagementsystem am Beispiel verschiedener Gebäudetypen und Versorgungsstrukturen. Bei den ausgewählten Gebäudestrukturen sollen möglichst Bestands- und Neubau, gewerbliche, öffentliche und private Liegenschaften mit mittleren und hohen Energieverbräuchen und fossiler wie regenerativer Energieerzeugung betrachtet werden. In den Abbildungen 1-2 werden Beispiele für die Sektorenkopplung am Campus Landshut/ dem Gesamtsystem dargestellt.

In dem Projekt werden bewusst Gebäude und Bereiche mit mittlerem und hohem Energieverbrauch ausgewählt, da hier sehr hohe Einsparpotentiale erreicht werden können und sich entsprechende smart-meter sowie Steuerungstechnik kurzfristig amortisieren.

Neben der technischen Umsetzung wird im Rahmen dieser Arbeit Wert auf ein hohes Maß an Software-Ergonomie gelegt. Energiemanagementsysteme, in Anlehnung an ISO 50001, ermöglichen die kontinuierliche Verbesserung der energiebezogenen Leistung, die im Allgemeinen als messbare Ergebnisse in Bezug auf Energieeffizienz, -nutzung und -verbrauch definiert wird [2]. Energiemanagementsysteme werden von KMU derzeit nur selten eingeführt und umgesetzt, selbst in Ländern (wie Deutschland), in denen ein hohes Bewusstsein für Energieeffizienz und Energiemanagement vorherrscht [3].

Aktuell existiert eine Vielzahl an Softwareanwendungen, um den Aufbau eines Energiemanagementsystems zu unterstützen. Ihre häufigste Funktion ist jedoch die Auswertung und Visualisierung von Daten in Echtzeit. Prozesse wie etwa die Entwicklung von Energieeffizienzindikatoren, die Überprüfung der Energieeffizienz und die Planung von Maßnahmen müssen häufig manuell durchgeführt werden und erfordern daher beträchtliche Ressourcen [4]. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine/ nur begrenzt wirksame Werkzeuge, um die "Hauptverbraucher-Prozesse" bei der Umsetzung des Energiemanagementsystems zu unterstützen. Aus diesem Grund wird die Benutzerakzeptanz in dieser Arbeit als kritischer Erfolgsfaktor für die Softwareentwicklung besonders berücksichtigt.

## **1.2 Projektakteure**

Um die Energieeffizienz langfristig zu steigern, wird exemplarisch 100% EE-Szenarien sowie der derzeitige Anteil erneuerbarer und fossiler Erzeugung mit verschiedenen Gebäudetypen und Versorgungsstrukturen innerhalb der Drei-Bäder-Region Niederbayern betrachtet. Bei den Gebäudetypen werden beispielhaft öffentliche, gewerbliche und private Liegenschaften herangezogen.



Abbildung 3: Übersicht Standorte der Projektakteure

### Ausgewählte Gebäudetypen und Versorgungsstrukturen (siehe Abbildung 3):

- Zur Betrachtung von öffentlichen Liegenschaften werden - Hallenbädertherme in Bad Füssing, große Verwaltungsgebäude mit verschiedensten Anforderungen wie das Campusgelände Landshut, das Technologiezentrum in Ruhstorf sowie BioEnergie Holmernhof [5] - herangezogen. Die Energieversorgung der Therme in Bad Füssing erfolgt mittels Erdgas- und BHKW-Technologie. Die Wärmeversorgung des Campus der Hochschule Landshut erfolgt mittels Biomassefernwärme [6]. Durch die Betrachtung des Standortes Landshut kann neben PV-Strom in der Drei-Bäder-Region, auch die Einbindung von Windkraftstrom simuliert werden.
- Die Analyse eines öffentlichen Büro- und Hörsaalgebäudes wird im Kapitel 2.1 detailliert beschrieben.
- Das Technologiezentrum Ruhstorf eignet sich mit seinem vorhandenen Gebäude und Versorgungsstruktur optimal für das Aufzeigen von Betriebszuständen bei Bestandsgebäuden im Vergleich zum Neubau nach EnEV-Standard und Energieerzeugungsmix fossiler und erneuerbarer Energien; weiterhin für die Einbindung neuester Stromspeicher- und thermischer Speichertechnologien sowie einer E-Ladestation. Hieraus sollen dann die gewonnenen Erkenntnisse aus der Betrachtung einzelner Liegenschaften für die Systemvernetzung und das Energieeffizienzmanagement einer gesamten Region zur Sektorenkopplung (Wärme, Strom, Mobilität) ausgebaut werden. Die Gebäude mit der vorhandenen Ausstattung aus den laufenden Projekten wie EKOSTORE [7] und FSTORE [8] durch die Systemkombination von Batteriespeichern, Photovoltaik und Mikro-BHKW, E-Ladestation sowie mit der für den Neubau geplanten solar- / geothermie-gestützten Wärmepumpensysteme. Somit können Bestandsgebäude mit fossiler Wärmeerzeugung und EnEV 2016-Neubaustandard gegenübergestellt werden.
- Die BioEnergie Holmernhof [5] versorgt Wärme vor Ort für den Campingplatz und das Apartmenthaus mittels Biomasse Holzvergaser, BHKWs und Heizölkessel und speist die zusätzliche Wärme in ein Fernwärmenetz. Der von den BHKWs erzeugte Strom wird in das Stromnetz eingespeist. Außerdem befindet sich eine PV-Anlage für den Eigenbedarf auf dem Gelände.

- Aus dem gewerblichen Bereich (Tourismusbranche) werden verschiedene Hotelgebäude in Bad Füssing betrachtet, welche mittels Biomassenahwärmenetz, Holzvergaser, BHKW und Photovoltaikanlage versorgt werden.
- Aus dem industriellen Bereich wird exemplarisch das Ziegelwerk der Leipfinger Bader GmbH in Vatersdorf und die Kläranlage Bad Füssing / Pocking betrachtet.
- Um weitere Stromspeicherkomponenten zu berücksichtigen, wird exemplarisch der Trinkwasser-Hochbehälter von Zweckverband Wasserversorgung Unteres Inntal (ZWUI), welcher derzeit mittels Pumpen mit hauptsächlich fossil erzeugtem Nachtstrom gespeist wird, in die Betrachtung mit einbezogen.

Durch die Vernetzung der Hauptakteure (wie etwa Endverbraucher, lokale Energieversorger, Technologieanbieter) und der Sektorenkopplung, wird ein regionales, dezentrales, nachhaltiges und wirtschaftliches Energieversorgungssystem erreicht.

## 2 Methodischer Ansatz

Die Grundlage eines jeden Energiemanagementsystems (EMS) besteht in der Sammlung, Verarbeitung, Speicherung und Auswertung von energie- und ressourcenbasierten Daten. Dazu werden Mess- und Steuerungsgeräte in verschiedenen Gebäudetypen installiert, wie beispielsweise in Hotels, Hallenbädern, Verwaltungs- und Fabrikgebäuden. Um die geografisch verteilten Messstellen anschließend miteinander zu vernetzen, wird jede Liegenschaft mit einem Mikrocomputer (Raspberry Pi) ausgestattet, der relevante Sensorwerte periodisch abfragt, in ein einheitliches Datenformat bündelt und an eine zentrale Verarbeitungsstelle (Amazon Cloud) weitergibt. Im Gegensatz zu klassischen Einzelsoftwareanwendungen (beispielsweise zur Abdeckung eines Gebäudekomplexes) handelt es sich hierbei um eine Big Data-Applikation, die mit wachsender Datenmenge skalierfähig sein muss. Aus diesem Grund baut der in dieser Arbeit entwickelte Prototyp auf Amazons „serverless computing-Plattform“ auf, der in [9] näher beschrieben wird.

In der Cloud werden die gesammelten Daten anschließend unter Einsatz von Maschinellern Lernen auf Plausibilität überprüft und überwacht. Durch den genauen Kenntnisstand der Ressourcen-Lebenskette lässt sich beispielsweise abnormales Verhalten („Anomalie-Detection“) unmittelbar identifizieren (z.B. bei erhöhtem Wasserverbrauch im Falle eines Rohrbruchs) sowie bestehende Systeme optimieren, etwa durch zeitaktuelle PV-Prognosen.

Im nachfolgenden Abschnitt wird die in dieser Arbeit verwendete Messtechnik an Hand eines Hörsaal- und Bürogebäudes exemplarisch dargestellt. Anschließend wird ein erster Anwendungsfall zur Erhöhung der Energieeffizienz mit Hilfe von Maschinellern Lernen skizziert.

### 2.1 Messtechnik am Beispiel eines Büro- und Hörsaalgebäude

Als Testobjekt für die verwendete Messtechnik dient das Hörsaal- und Bürogebäude „Innovations Fabric“ in Landshut. Das Gebäude wurde 2011 errichtet und wird von der Hochschule Landshut und der SEHLHOFF GMBH gemeinsam genutzt. Das Gebäude verfügt über eine Bürofläche von ca. 1150 m<sup>2</sup> sowie zwei Hörsäle mit einer Fläche von insgesamt 443 m<sup>2</sup>. Im Gebäude gibt es ca. 60 Büroarbeitsplätze, 2 Besprechungsräume unterschiedlicher Größe sowie mehrere Technik- und Serverräume.

### 2.1.1 Haustechnik

Das Gebäude wird über einen 180 kW Gaskessel mit Wärme versorgt. Die Wärmeverteilung erfolgt mittels Heizkörper wobei jedes Geschoss über einen separaten Heizkreisverteiler verfügt. Die Regelung der Heizkörper erfolgt über Zwei-Wege-Thermostatventile.

Für zwei der Besprechungsräume sind jeweils eigene Klimasplitgeräte mit Kühlkassetten vorhanden. Diese verfügen über Kühlleistungen von 27 kW bzw. 15 kW.

Zur Lüftung und Temperierung der Hörsäle und der WCs sind drei raumluftechnische Anlagen vorhanden. Diese sind über einen gemeinsamen Heizkreis mit dem Gaskessel verbunden. Die beiden Hörsaal-Lüftungsgeräte verfügen zusätzlich über jeweils eine eigene Kältemaschine mit 27 kW bzw. 15 kW Kühlleistung.

### 2.1.2 Messtechnik und Verbrauchsdaten

Der Strom-, Wärme- und Gasverbrauch des Gebäudes wurde seit 2012 jährlich abgelesen und erfasst. Der Stromverbrauch der Lüftungszentrale (incl. Kühlsystem) wird dabei über einen separaten Zähler erfasst. Eine zeitlich höher aufgelöste Messdatenerfassung erfolgte nicht.

Der gemessene Gasverbrauch im genannten Zeitraum lag zwischen 71 MWh und 90 MWh, der Stromverbrauch für Lüftung und Klimatisierung zwischen 17 MWh und 19 MWh.–Die gemessenen Verbrauchswerte weichen stark von den Werten der Energiebedarfsberechnung nach ENEC von 191 MWh (Endenergiebedarf Wärme) und 25 MWh (Endenergiebedarf Lüftung & Klimatisierung) ab. Eine genaue Analyse dieser Abweichungen ist mit der vorhandenen Messtechnik nicht möglich.



Abbildung 4 Elektronischer Wirk- und Blindenergiezähler BME 461 [10]

### 2.1.3 Messkonzept und Datenbankanbindung

Im Rahmen des Forschungsprojekts DENU wurde die vorhandene Messtechnik durch ein echtzeitfähiges Messsystem ergänzt. Insgesamt wurden 13 Strommessgeräte [10] 9 Ultraschalldurchflussmessgeräte [11, 12] mit Temperatursensoren sowie ein digitaler Gaszähler [13] nachgerüstet. Die Messgeräte sind mit über MODBUS-RTU verbunden. Abbildung 4 zeigt die Stromzähler der Lüftungszentrale.

Als Endpunkt des BUS-Systems wurde ein BUS-Wandlergateway installiert [14]: Dieser ist über ein Ethernet-Kabel mit einem Raspberry Pi 4 Model B [15] verbunden. Der Raspberry Pi ist über eine zweite Ethernet-Schnittstelle mit dem Internet und darüber mit einer AWS (Amazon Web Services)-Datenbank [16] verbunden.

Die Daten Abfrage und Umwandlung wird über ein Python-Programm auf dem Raspberry Pi ausgeführt. Das Python-Programm wird in einem Docker-Container gekapselt, um eine einfache Portierbarkeit zu gewährleisten sowie Neustart Routinen bei Strom- oder Netzwerkausfälle zu hinterlegen [17]. Abbildung 5 zeigt eine graphische Übersicht der Datenverarbeitung.

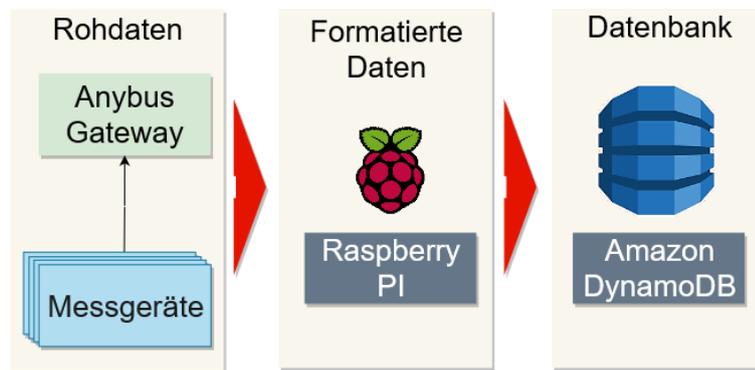


Abbildung 5 Übersicht über den Aufbau des Messsystems und der Datenweiterleitung

Die Software ist dabei so modular aufgebaut, dass eine Erweiterung oder Veränderung des Messsystems jederzeit ohne Eingriffe in die Programmstruktur erfolgen kann. Die Anpassung der Software an ein Messsystem erfolgt über eine entsprechende Konfigurationstabelle.

### 2.1.4 Bewertung des Messsystems

Der gewählte und implementierte Aufbau des Messsystems erlaubt eine Erfassung von Leistungs- und Energiemessdaten im Sekundenbereich. Das System liefert zuverlässig und stabil Daten an den Cloud-Server. Die Modularität und einfache Konfigurierbarkeit der Software gewährleistet deren Anwendbarkeit auch in anderen Messsystemen. Das angewandte System sowie die entwickelte Software kann somit aufwandarm auf weitere Messsysteme übertragen werden.

## 2.2 Beispielanwendung für eine vernetzte Energieversorgung

Aufgrund der Volatilität von erneuerbaren Energien (wie etwa Solarenergie) ist eine genaue Stromproduktionsprognose notwendig. Dafür wurden im Rahmen dieses Projekts die historischen Produktionsdaten einer PV-Anlage mit den Wetterdaten des Deutschen

Wetterdiensts (DWD) sowie einer eigenen Wetterstation verknüpft und ausgewertet. Durch die Echtzeiterfassung der Daten wird das Produktionsprognose Modell laufend angepasst. Mit Hilfe von Speichertechnologien wie Power-to-Heat lässt sich dadurch überschüssiger Strom zu Wärme umwandeln, wodurch der Anteil fossiler Energieträger zur Wärmeerzeugung insbesondere in der Sommerzeit reduziert werden kann.

### 3 Projektziele

Zusammengefasst sollen mit der Entwicklung des Energiemanagementsystems folgende Ziele erreicht werden:

- Digitales Managementinstrument zur Steuerung und Prognose komplexer zeitaktueller Energiebedarfs-, Erzeugungssysteme durch Systemvernetzung
- Abgleich Strom-/Wärmeüberschüsse von erneuerbarer Energie auf der Erzeugungsseite unter Einbindung von Speichern mit der öffentlichen, wohnungswirtschaftlichen und industriellen Bedarfsseite
- Entwicklung eines interdisziplinären und systemorientierten Ansatzes durch die Vernetzung verschiedener Energiemanagement-, Ressourcenmanagementsysteme zur Verfolgung der kompletten Lebenskette
- Technologieübergreifende Kopplung von Einzelkomponenten (Strom, Wärme, Kühlbedarf und Überschuss) zur Entwicklung eines Gesamtsystems mittels geographischer Verortung und Vernetzung mit Smart Meter und Gebäudeautomation (Energie- und Ressourcencontrolling)
- Anwenderfreundliche Kommunikationstechnologie unter Berücksichtigung sicherheits- und datenschutzrelevanter Aspekte (Serverstandort, Datenschutzkonzept, mobile Anwendungen)
- Entwicklung für Sektorenkopplung notwendige Geschäfts-/Betreibermodelle zu der Umsetzung der Energiemanagementmethoden mit Berücksichtigung der Benutzerakzeptanz

### 4 Danksagung

Das Projekt „EnEff:Stadt: DENU – Digitale Energienutzung zur Erhöhung der Energieeffizienz durch interaktive Vernetzung“ wird im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung vom BMWi gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 5 Referenzen

- [1] Forschungsverbunds Erneuerbare Energien, "Energiekonzept 2050 - Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von 100 % erneuerbaren Energien," Berlin, Juni 2010, 2010.
- [2] B. Gopalakrishnan, K. Ramamoorthy, E. Crowe, S. Chaudhari, H. Latif, "A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 154-165, 2014.
- [3] BFEE, "Der Markt für EnergiemanagementSysteme in kleinen und mittleren Unternehmen", Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2017.
- [4] K. Bruton, P. O'Donovan, A. McGregor, and D. D. T. J. O'Sullivan, "Design and development of a software tool to assist ISO 50001 implementation in the manufacturing sector," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 232, no. 10, pp. 1741–1752, 2018.
- [5] Bio-Energie Holmernhof, Wärmeversorgung. Available: <http://www.bioenergiebadfuessing.de/>. [Zugriff am 31 Januar 2020]
- [6] Stadtwerke Landshut, Biomasseheizkraftwerk in Landshut, <https://www.stadtwerke-landshut.de/energie/fernwaerme/>. [Zugriff am 31 Januar 2020]
- [7] EKOSTORE, "Zukunft der dezentralen Energieversorgung", Available: <https://www.haw-landshut.de/aktuelles/news/news-detailansicht/article/zukunft-der-dezentralen-energieversorgung.html>. [Zugriff am 31 Januar 2020]
- [8] FSTORE, "Batterien für die Energiewende", Available: <https://www.haw-landshut.de/hochschule/fakultaeten/interdisziplinaere-studien/aktuelles/news/news-detailansicht/article/projekt-fstore-batterien-fuer-die-energiewende.html>. [Zugriff am 31 Januar 2020]
- [9] F. Huber, N. Körber, M. Mock, "Selena: a Serverless Energy Management System" presented at 5<sup>th</sup> International Workshop on Serverless Computing, Davis, CA, USA, 2019.
- [10] Berg GmbH, BME 461 Elektronischer Wirk- und Blindenergiezähler Direktmessung, Datenblatt, Martinsried, 2019.
- [11] Berg GmbH, Multical 602, Datenblatt, Martinsried, 2019.
- [12] Kamstrup A/S, Ultraflow 54, Ultraflow 34, Technische Beschreibung, Skanderborg, Dänemark, 2018.
- [13] Elster GmbH, Maßtabellen für Balgengaszähler und Gasdruckregelgeräte, Mainz-Kastel, 2013.
- [14] HMS Industrial Networks AB, Anybus Modbus-TCP/RTU Gateway, User Manual, Halmstad, Schweden, 2016.
- [15] Raspberry Pi Trading Ltd., Raspberry Pi 4 Computer Model B, Cambridge, UK, 2019.
- [16] Amazon Web Services, Inc., „Amazon Web Services AWS – Server Hosting & Cloud Services," Amazon Web Services, Inc., [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/de/>. [Zugriff am 31 januar 2020].
- [17] Docker, Inc., „Empowering App Development for Developers | Docker," Docker, Inc., 2020. [Online]. Available: <https://www.docker.com/>. [Zugriff am 31 Januar 2020].