



Energieeffizienz durch intelligente Stromdatenerfassung

Facility Manager müssen die Energieeffizienz ihrer Anlagen maximieren, während gleichzeitig der Energiebedarf und die Kosten steigen. Eine Lösung für diese Herausforderung liegt in der Implementierung digitaler Prozesse, die eine umfassende Überwachung, Analyse und Steuerung von Verbräuchen ermöglichen. Durch den Einsatz von IoT-Technologien und Open-Source-Software wurde eine kostengünstige und drahtlose Retrofit-Lösung entwickelt, die eine Echtzeit-Erfassung von Energiedaten ermöglicht – und das bei einer flexiblen Integration in vorhandene Strukturen.

Schlüsselwörter

Retrofit, Open-Source, Smart Metering, Energy-Monitoring, Facility Management, Smart Industrial Building, Internet of Things



Sergej Kreber arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Forschung der Hochschule für Technik Stuttgart, Fachgebiet Digitalisierung und Informationsmanagement.



Kevin Kutzner arbeitet als Cloud Infrastructure Engineer bei der Novatec Consulting GmbH in Leinfelden-Echterdingen.



Prof. Dr. Dipl.-Ing. Dieter Uckelmann ist Professor für Digitalisierung und Informationsmanagement sowie wissenschaftlicher Direktor des Instituts für Angewandte Forschung an der Hochschule für Technik Stuttgart.

Kontakt

dieter.uckelmann@hft-stuttgart.de
www.hft-stuttgart.de

DOI: 10.30844/I4SD.24.2.87

Energieeffizienz durch intelligente Stromdatenerfassung

Drahtlose Retrofit-Lösung auf Basis von IoT-Technologien und Open Source Software für industrielle Bestandsgebäude

Sergej Kreber und Dieter Uckelmann, Hochschule für Technik Stuttgart,
Kevin Kutzner, Novatec Consulting GmbH

Facility Manager von industriellen Liegenschaften stehen vor der Herausforderung, die Energieeffizienz ihrer Anlagen angesichts eines stetig steigenden Energiebedarfs und steigender Energiekosten zu optimieren. Digitale Prozesse, die eine umfassende Überwachung, Analyse und Steuerung des Energiebedarfs ermöglichen, bieten eine effektive Möglichkeit, Kosten zu senken, die Energieeffizienz zu steigern und Ressourcen optimal zu nutzen. Basierend auf IoT-Technologien und Open Source Software wurde eine kostengünstige, drahtlose und flexible Retrofit-Lösung zur Echtzeit-Energiedatenerfassung entwickelt.

Angesichts der energiepolitischen Ziele der Bundesregierung und des stetig wachsenden Energiebedarfs bei gleichzeitig steigenden Energiepreisen wird die Überwachung und bedarfsgerechte Steuerung des Energiebedarfs der eingesetzten Infrastruktur in der Liegenschaftsverwaltung industrieller Gebäude sowie deren technischen Anlagen in zunehmendem Maße erforderlich [1, 2].

Durch die Wertschöpfung digitaler Prozesse mit umfangreicher Überwachung, Analyse und Steuerung des Energiebedarfs können Kosten effektiv gesenkt, die Energieeffizienz gesteigert und Ressourcen optimal genutzt werden. Dies trägt nicht nur zu einer verbesserten ökologischen Bilanz bei, sondern führt auch zu Kosteneinsparungen, wodurch eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit und Rentabilität des Unternehmens gestärkt wird [3].

Innerhalb von industriellen Liegenschaften kann dies durch die Einführung eines Echtzeitenergiemonitorings erreicht werden. Das Echtzeitenergiemonitoring ermöglicht die zeitabhängige Identifikation von Energieeinsparpotenzialen durch automatisierte Datenerfassung und Visualisierung. Diese effektive Methode trägt dazu bei, einen ge-

naueren Einblick in den zeitabhängigen Energieverbrauch zu erhalten und somit Optimierungsmöglichkeiten zu erkennen [3]. Vorausschauend auf den zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energiequellen, besteht bereits jetzt die Möglichkeit, durch die Echtzeiterfassung eine Grundlage dafür zu schaffen, den eigenen Verbrauch an das

volatile Angebot aus erneuerbaren Energiequellen anzupassen. Durch die Verlagerung oder Entkopplung von Arbeitsschritten in der Fertigung kann der Energieverbrauch an die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien angepasst und ein Beitrag zur Netzstabilität geleistet werden.

Die automatisierte Echtzeiterfassung von Stromverbrauchsdaten bildet die Grundlage für ein systematisches Energiemonitoring und der Wertschöpfung der daraus abgeleiteten Informationen [4]. Eine effektive Steigerung der Energieeffizienz durch Energiemonitoring ist daher grundlegend auf eine fundierte Messdatenerfassung angewiesen.

Stromdatenerfassung – Status quo und Herausforderungen in der Vernetzung

Bei der Betrachtung der gegenwärtigen Ausgangslage in der Verbrauchsdatenerfassung von Bestandsgebäuden industrieller Liegenschaften müssen Mitarbeiter verschiedene Gebäude aufsuchen, um den Verbrauchswert jedes einzelnen Energiezählers abzulesen. Dies geschieht entweder in jährlichen oder in monatlichen Zeitintervallen. Bei großen Liegenschaften mit zahlreichen verteilten Gebäuden und einer gewachsenen Energiezählerinfrastruktur ist dieser Prozess äußerst zeitaufwändig, kostspielig und trotz aller Sorgfalt fehleranfällig. Aufgrund dessen ist eine kontinuierliche Verbrauchsdatenerfassung in Echtzeit nicht möglich, wodurch Abweichungen nicht sofort erkennbar sind. Dadurch wird ein zeitnahes und vorbeugendes Eingreifen in einem unvorhersehbaren Fehlerfall unmöglich. Dies kann für ein Unternehmen teuer werden, denn das Vorbeugen und rechtzeitige



Die ORCID-Identifizierungsnummern der Autoren dieses Beitrags sind einsehbar unter <https://doi.org/10.30844/I4SD.24.2.87>.

Dies ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution License, die die Nutzung, Verbreitung und Reproduktion in jedem Medium erlaubt, sofern das Originalwerk ordnungsgemäß zitiert wird.

Eingreifen bei Bedarf sind oft kostengünstiger als der Ausfall oder die Reparatur einer Anlage [5].

In vielen Gebäudeteilen ist nur ein einziger Energiezähler für den Gesamtstromverbrauch installiert. Bereiche, die nur über einen Hauptzähler verfügen, können den Stromverbrauch von individuellen Unterverbrauchsstellen nicht erfassen [6].

Dadurch ist eine präzise und zeitabhängige Zuordnung des Stromverbrauchs zu den verschiedenen Stromnutzungsarten wie Lichtsteuerung, Heizungs-, Klima-, Lüftungsanlagen (HKL) oder der Stromverbrauch an Prüfständen nicht möglich. Erschwerend kommt hinzu, dass oft Energiezähler unterschiedlichen Alters sowie unterschiedlicher Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle verbaut sind. Teilweise sind noch analoge Energiezähler in Betrieb [5, 7].

Eine der wichtigsten Voraussetzungen ist, dass der laufende Betrieb von Anlagen und die kontinuierliche Stromversorgung während des Integrationsprozesses weder gestört noch unterbrochen werden dürfen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Kommunikationsinfrastruktur in der Lage sein muss, große Distanzen zu überwinden. Dies gilt insbesondere für weitläufig verteilte Liegenschaften. Die Netzwerkkommunikation sollte robust genug sein, um eine zuverlässige Datenübertragung über weite Entfernungen zu gewährleisten. Dies ist für eine flächendeckende Vernetzung von Energiezählern in unterschiedlichen Gebäudekomplexen und weitläufigen Geländen entscheidend.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Wahl der Kommunikationsinfrastruktur berücksichtigt werden muss, ist die Erfassung von Daten in Kellerräumen, da zumeist Energiezähler in solchen installiert sind. Die gewählte Technologie muss daher in der Lage sein, auch unter schwierigen Übertragungsbedingungen zuverlässig Daten zu sammeln und zu übertragen.

Die Vernetzung von Energiezählern erfordert eine sorgfältige Abwägung verschiedener technologischer Faktoren, um eine zuverlässige, effiziente und störungsfreie Integration in die bestehende Infrastruktur zu gewährleisten.

Bei der Betrachtung von Bestandsgebäuden industrieller Liegenschaften treten die vielen Herausforderungen bei der Erfassung von Stromverbrauchsdaten hervor – insbesondere dann, wenn ein Austausch der bestehenden Zählerinfrastruktur aus zeitlichen und wirtschaftlichen Gründen nicht praktikabel ist. Daher ist die Implementierung eines passenden Retrofit-Systems unumgänglich. Es existieren zahlreiche Systeme zur Datenerfassung sowie technische Ansätze zur Überwachung des Energieverbrauchs. Allerdings fehlt es an einer durchgängigen, kostengünstigen und vielseitig einsetzbaren Lösung zur Erfassung von Stromverbrauchsdaten in industriellen Liegenschaften.

Bei der Integration eines Retrofit-Systems stellt sich die Frage, wie man bauliche Maßnahmen vermeiden und sowohl die Integrations- als auch Wartungskosten minimieren kann [8]. Eine erfolgreiche Bewältigung dieser Fragestellung erfordert eine sorgfältige Planung sowie die Auswahl geeigneter Technologien. Funktechnologien und Open Source Software (OSS) aus dem Bereich des Internet of Things (IoT) bieten vielversprechende Möglichkeiten zur durchgängigen Erfassung von Stromdaten, um die Effizienz von industriellen Bestandsgebäuden zu steigern [9]. IoT beschreibt die Vernetzung von physischen Geräten über das Internet, um Daten auszutauschen und intelligente Funktionen zu ermöglichen. Diese Geräte wie Sensoren oder Aktoren, sammeln und analysieren Informationen in verschiedenen Umgebungen, um bestimmte Aktionen auszuführen. OSS steht für öffentlich zugängliche Software mit offenem Quellcode, die von einer Entwicklergemeinschaft gemeinsam erstellt, verbessert und gewartet wird. Im Bereich des IoT wird OSS dafür eingesetzt, kostengünstige und flexible Lösungen zu entwickeln, die auf verschiedenen Geräten und Plattformen laufen können und die Interoperabilität zwischen verschiedenen IoT-Komponenten zu fördern.

In diesem Kontext wurde in Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH am Standort Schwieberdingen ein kostengünstiges Retrofit-System unter Einsatz gängiger Open-Source-IoT-Technologien entwickelt.

IoT-Retrofit von Energiezählern – Smarte Messtechnik zur Datenerfassung

Der Einsatz nicht-invasiver Sensor- und Messtechnik ermöglicht eine einfache und schnelle Installation in Gebäuden ohne Unterbrechung ihrer Versorgung, sowie eine unkomplizierte Integration in ein Energiemonitoring-System [10].

Dadurch entfällt das Ablesen von Stromverbrauchswerten an einzelnen Geräten, während ein Austausch der Zählerinfrastruktur nicht mehr nötig ist. Die Vernetzung der Energiezähler trägt dazu bei, dass eine umfassende Transparenz über die zeitabhängigen Verbrauchsdaten geschaffen wird und gleichzeitig die Fehlerquote in der Datenverarbeitung durch den automatisierten Datenfluss minimiert wird. Darüber hinaus haben Facility Manager die Möglichkeit, auf ungeplante Verbrauchsänderungen zu reagieren und können geeignete Maßnahmen einleiten – auch, um Prognosen über zukünftige zeitabhängige Verbräuche treffen zu können. Diese zusätzlichen Funktionen stärken die Steuerung und das Management des Energieverbrauchs, indem frühzeitig und in Echtzeit auf Veränderungen reagiert werden kann und gleichzeitig eine langfristige Planung ermöglicht wird.

Der Aufbau einer drahtlosen Retrofit-Lösung kann in drei wesentliche Kernbereiche eingeteilt werden: Sensor- und

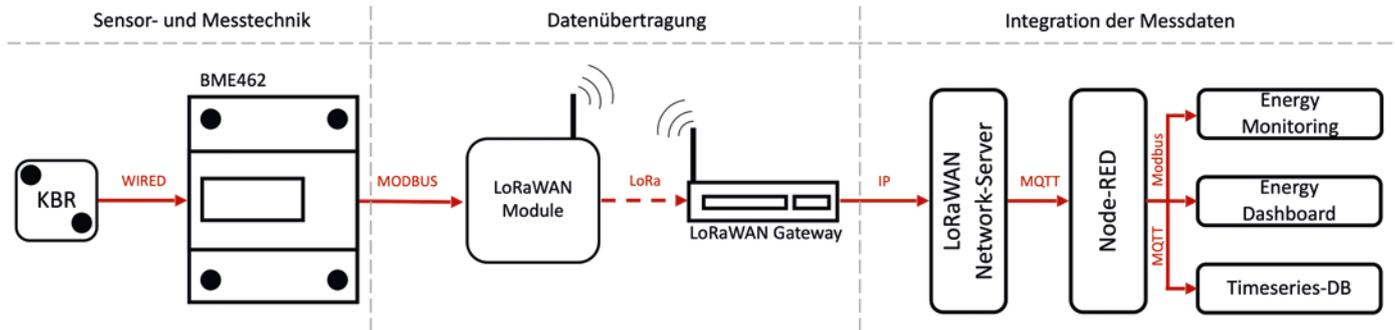


Bild 1: Ende-zu-Ende Messdatenfluss.

Messtechnik zur Erfassung der Stromverbrauchsdaten, drahtlose Datenübertragung durch ein IoT-Gateway sowie anschließende Integration der Messdaten in ein Energiemanagement- oder Leittechniksystem (**Bild 1**).

Der zentrale Bestandteil der Sensor- und Messtechnik ist ein digitaler Energiezähler der Marke Berg vom Typ BME462. Hierbei handelt es sich um einen elektronischen Wirk- und Blindenergiezähler (Wandlerzähler), der sowohl in Bezugs- als auch in Einspeiserichtung als Einzellösung oder parallel als Zwischenzähler zu vorhandenen Energiezählern betrieben werden kann. Die erfassten Messdaten können über Schnittstellen wie Modbus RTU, Modbus TCP, BACnet oder M-BUS mit verschiedenen Energiemanagement- oder Leittechniksystemen ausgetauscht werden [11].

Um den elektrischen Stromfluss zu messen, wird als Sensorkomponente ein passiver Kabelumbau-Stromwandler (KBR) eingesetzt. Dieser ähnelt in seiner Funktion einem speziellen Transformator, der dazu gedacht ist, große, nicht direkt messbare Ströme (Primärstrom) in einen kleineren, direkt messbaren Sekundärstrom umzuwandeln [12]. Mit dem so erzeugten und zum Primärstrom proportionalen Wechselstrom ist es möglich, den tatsächlichen elektrischen Stromfluss mit angeschlossenen Standardmessgeräten wie dem BME462 sicher zu messen (**Bild 2**) [13].

Um den Aufwand bei der Installation so gering wie möglich zu halten und das Auftrennen der Primärleiter zu vermeiden, besteht der KBR aus einem teilbaren Messkern. Ein weiterer Pluspunkt besteht in seinen geringen Abmessungen, weswegen ein KBR an schwerzugänglichen Stellen oder bei begrenztem Platzangebot eingesetzt werden kann [14].

Sind die Stromverbrauchsdaten erfasst, erfolgt die drahtlose Datenübertragung über das LoRaWAN-Netzwerkprotokoll.

Datenübertragung mit LoRaWAN

Die erfassten Messdaten der Sensor- und Messtechnik können sowohl drahtlos als auch über Kabel mit verschie-

denen Kommunikationsprotokollen an ein übergeordnetes Energiemonitoring- oder ein Leittechniksystem übermittelt werden. Im Bereich des Smart Home werden für die Steuerung von Sensoren und Aktoren seit langem etablierte und weitverbreitete Kommunikationsprotokolle für drahtlose lokale Netzwerke (Wireless Local Area Network, WLAN) eingesetzt. Dazu gehören WiFi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave und EnOcean. Die Entscheidung für den Einsatz dieser Protokolle wird häufig entweder durch die bereits vorhandene Infrastruktur oder die für Heimanwendungen ausreichende Leistung begründet [15].

Im Kontext der Stromdatenerfassung in industriellen Liegenschaften sind mit WLAN ausgestattete Smart-Home-Zähler wie das Shelly EM oder diverse andere Smart-Meter-Steckdosen ungeeignet, weil die Signalstärke in Kellerräumen oft nicht ausreicht und daher hohe Vernetzungskosten entstehen. Beim Aufbau einer flächendeckenden Kommunikationsinfrastruktur werden zusätzliche Repeater benötigt. LANs, die für den effizienten Transport großer Datenmengen bei relativ geringer Reichweite ausgelegt sind, sind dabei nicht sinnvoll, da die erzeugte Datenmenge in IoT-Anwendungen vergleichsweise gering ist [15, 16]. Wichtig sind jedoch eine hohe Reichweite sowie eine gute Gebäudedurchdringung bei einer langen Batterielaufzeit. Daher sollten alternative Technologien wie LoRaWAN oder NB-IoT in Betracht gezogen werden.

In diesem Zusammenhang erweist sich das Low Range Wide Area Network (LoRaWAN) als eine vielversprechende Technologie für die drahtlose Übermittlung von Daten in großflächigen industriellen Liegenschaften. LoRaWAN gehört zu den sogenannten Long Range Wide Area Network (LPWAN)-Technologien und wurde gezielt für die Anforderungen des IoT entwickelt.

LoRaWAN zeichnet sich durch seine hohe Reichweite und seinen niedrigen Energieverbrauch aus, wodurch ganze Betriebsgelände mit nur wenigen Gateways kostengünstig abgedeckt werden können. Auch in Kellerräumen, in denen herkömmliche Funktechnologien an ihre Grenzen kommen, ist eine Abdeckung durch die hohe und stö-

rungsfreie Durchdringung von LoRaWAN gewährleistet. Aufgrund der geringen Datenmengen, die in einem LoRaWAN-Netzwerk übertragen werden, können nahezu beliebig viele Sensoren über ein einziges Gateway in die Netzwerkinfrastruktur integriert werden [15]. Diese Eigenschaften machen LoRaWAN besonders geeignet für Anwendungen im Bereich der Stromdatenerfassung großflächiger industrieller Liegenschaften.

Für die entwickelte Retrofit-Lösung wurde der elektronische Energiezähler BME 462 über die im Gerät integrierte Modbus-Schnittstelle mit einem Open-Source LoRaWAN-Modul verbunden. Ein RS485-zu-LoRaWAN Konverter ermöglicht es, nicht netzwerkfähige Geräte einfach über LoRaWAN in ein IoT-Netzwerk zu integrieren. Dies vereinfacht die IoT-Installation und reduziert so die entstehenden Installations- und Wartungskosten. Der Konverter ist speziell für drahtlose Sensornetzwerke aus den Bereichen Smart Metering, Smart City und Smart Buildings entwickelt worden.

Der LoRaWAN-Konverter erzeugt ein Datenpaket mit den erfassten Verbrauchsdaten und sendet diese periodisch oder ereignisgesteuert über das LoRa-Funkprotokoll an ein Open-Source LoRaWAN-Gateway. Die gesendeten Daten werden von LoRaWAN-Gateways in der Umgebung empfangen und an den LoRaWAN-Netzwerkserver weitergeleitet. Das Gateway agiert dabei als Schnittstelle zwischen den drahtlosen Sensoren und dem Netzwerkserver. Das Gateway ermöglicht die Datenintegration in bestehende Netzwerkinfrastrukturen, indem es ein LoRa-Funknetz über WiFi oder Ethernet mit einem IP-Netzwerk verbindet. Neben WiFi und Ethernet bieten LoRaWAN Gateways weitere Schnittstellen wie Modbus, M-Bus und BACnet zur einfachen Integration in das Energiemonitoring oder die Gebäudeautomatisierung an.

Open Source Software zur Integration von Messdaten in ein EM-System

Um die über das LoRaWAN übermittelten Messdaten in eine Energiemonitoring-Systemlandschaft zu integrieren, wird ein LoRaWAN-Netzwerkserver benötigt. Dieser Server empfängt die Daten von den Gateways und stellt sie über eine API für die weitere Verarbeitung zur Verfügung. Es gibt verschiedene Varianten, einen LoRaWAN-Netzwerkserver in die eigene Infrastruktur zu integrieren.

Eine Möglichkeit besteht darin, auf bereits etablierte LoRaWAN-Cloud-Services zurückzugreifen. Einer der bekanntesten Anbieter ist das aus den Niederlanden stammende The Things Network (TTN). TTN ist ein weltweites kollaboratives Ökosystem, das LoRaWAN basierte Lösungen wie Netzwerkserver, Geräte und Cloud Services entwickelt und anbietet.

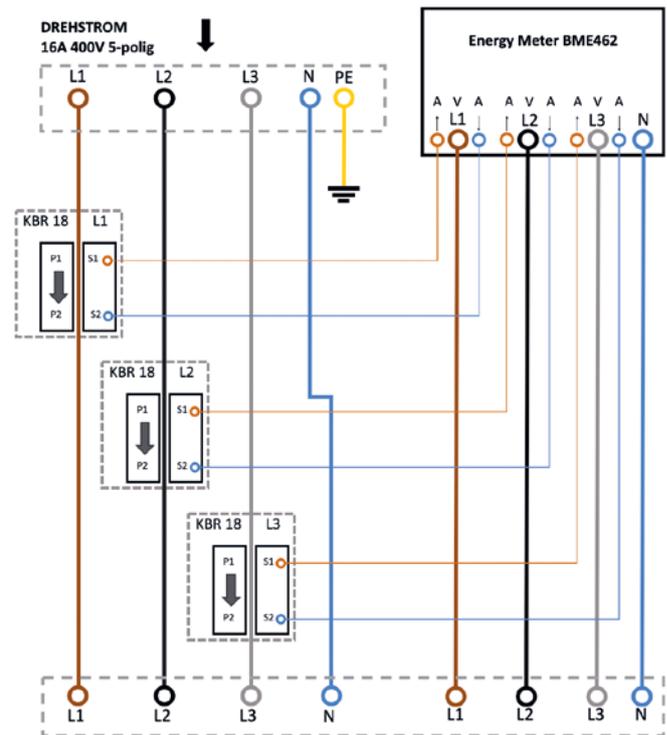


Bild 2: Schaltplan der Kabelumbau-Stromwandler an Energiezähler.

Ein Vorteil von Cloud-Service-Anbietern ist die schnelle Integration der Daten in die eigenen Systeme. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass in einigen Fällen der Einsatz von TTN aufgrund interner Sicherheitsrichtlinien eines Unternehmens nicht möglich ist. Dies könnte auf Bedenken hinsichtlich eines Datenabflusses aus dem Unternehmen oder eines zu vermeidenden Datenzuflusses ins Unternehmen zurückzuführen sein.

Für solche Szenarien bietet sich der lokale Betrieb eines eigenen LoRaWAN-Netzwerkserver an, wie den Open Source Server ChirpStack. Dies gewährleistet eine höhere Kontrolle über die Sicherheitsaspekte und ermöglicht es, den gesamten Datenverkehr intern zu abzuwickeln. Durch die lokale Bereitstellung des Netzwerkserver kann sichergestellt werden, dass sämtliche Daten innerhalb der eigenen Infrastruktur verbleiben [17].

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, LoRaWAN-Gateways mit bereits integrierten Netzwerkservern einzusetzen [18]. Es ist jedoch zu beachten, dass mit einer höheren Anzahl von Gateways auch der Wartungs- und Installationsaufwand steigt. Daher sollte die Auswahl dieser Option gut abgewogen werden, insbesondere im Hinblick auf Skalierbarkeit innerhalb großflächiger Liegenschaften und den Ressourcenaufwand für Wartungsarbeiten. Die Wahl der passenden Integrationsmethode

hängt von den spezifischen Anforderungen, den Sicherheitsrichtlinien und den Ressourcenkapazitäten des Unternehmens ab.

Für die Entwicklung der Retrofit-Lösung wird das Ziel der Open Source Software verfolgt. Die Verwendung von OSS im Energiemonitoring und in der Gebäudeautomatisierung bietet zahlreiche Möglichkeiten und Vorteile. Einer der zentralen Vorzüge liegt in der Flexibilität von OSS-Lösungen. Unternehmen können den Quellcode frei an ihre spezifischen Anforderungen anpassen, was eine maßgeschneiderte Adaption an die jeweiligen Use Cases oder unternehmensinterne Prozesse ermöglicht [19]. Die Offenheit von OSS ermöglicht zudem Transparenz, Sicherheit und Interoperabilität. Dadurch können Unternehmen ihre Systeme besser verstehen und nahtlos über offene Schnittstellen mit anderen Technologien interagieren [20]. Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Kostenersparnis, da keine Lizenzgebühren anfallen und dennoch leistungsfähige Softwarelösungen eingesetzt werden können [21]. Diese Vorteile machen den Open-Source-Ansatz zu einer attraktiven Option für Unternehmen, die nach kosteneffizienten, flexiblen und innovativen Softwarelösungen suchen, um die eigenen Energieverbräuche zu erfassen. Große Unternehmen wie Microsoft, Google und Bosch engagieren sich zunehmend aktiv in der Entwicklung von OSS. So hat beispielsweise Bosch einige Open-Source-Technologien im Bereich Industrial IoT, Digital Twins und Smart Building Solutions in einer IoT Suite auf den Markt gebracht [22], womit auch kleine und mittelständische Unternehmen auf Augenhöhe mit internationalen Konzernen agieren können.

Aus diesen Gründen wird für die Retrofit-Lösung der Open-Source LoRaWAN-Netzwerkserver ChirpStack eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine von der Community entwickelte Software für die Verwendung innerhalb der eigenen Infrastruktur. Der Netzwerkserver empfängt die Daten von den Gateways und leitet sie an die entsprechenden Anwendungen weiter. Die Kommunikation kann über diverse Protokolle erfolgen. Im Bereich des IoT bietet sich in Verbindung mit LoRaWAN die Verwendung von Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) an. MQTT ist ein leichtgewichtiges Protokoll, das eine effiziente und skalierbare Übertragung von Nachrichten ermöglicht. Das ist besonders bei drahtlosen Netzwerken wie LoRaWAN wichtig. Das Publish-Subscribe-Modell von MQTT eignet sich gut für LoRaWAN-basierte IoT-Anwendungen, bei denen Sensoren Messdaten veröffentlichen und verschiedene Anwendungen diese Daten abonnieren können. MQTT bietet zusätzlich Funktionen wie Warteschlangen für Nachrichten und Quality-of-Service an, um Datenverluste zu verhindern und eine robuste Kommunikation in drahtlosen Netzwerken sicherzustellen [23].

Wenn das eingesetzte Energiemonitoring-System bereits MQTT unterstützt, können die Messdaten direkt aus dem

Netzwerkserver integriert werden. In manchen Fällen wird diese Unterstützung jedoch nicht geboten oder es besteht der Wunsch, die Daten parallel zu weiteren Anwendungen zu versenden – etwa für das Speichern in einer Zeitreihendatenbank, um historische Informationen für Datenanalysen oder Prognosen zu erhalten.

Als Zwischenkomponente bietet sich hier der Einsatz von Node-RED an. Node-RED ist eine OSS die eine grafische Oberfläche zur Verknüpfung von verschiedenen Datenquellen und Zielsystemen bietet. Es ermöglicht eine visuelle Programmierung von sogenannten Flows, in denen einzelne Nodes miteinander verbunden werden, um so Daten von einer Quelle zu einer Zielanwendung zu leiten. Bei Bedarf können Daten gefiltert und in ein anderes Format oder eine andere Struktur überführt werden, um sie den Anforderungen verschiedener Systeme anzupassen. Anschließend können die transformierten Daten mit verschiedenen Kommunikationsprotokollen an unterschiedliche Zielsysteme gesendet werden. Node-RED ermöglicht eine effiziente und anpassbare Datenverarbeitung zwischen dem Energiemonitoring-System und anderen Zielsystemen. Dadurch wird eine nahtlose Integration und Nutzung der Daten für verschiedene Zwecke ermöglicht.

Prototypische Umsetzung und Evaluation

Für Evaluationszwecke wurden drei Prototypen konstruiert und an zwei verschiedenen Standorten installiert. Der erste Prototyp ist ein vollständig mobiler Energiezähler, der an der Hochschule für Technik Stuttgart installiert wurde. Derzeit wird er genutzt, um den Stromverbrauch in einem Testlabor der Hochschule kontinuierlich zu erfassen.

Dieser mobile Prototyp ermöglicht die Messung zwischen einer CEE-Drehstromsteckdose (16A, 400V, 5-polig) und dem Verbraucher. Eine andere Variante besteht darin, 220V-Verbraucher über Schuko-Steckdosen mittels eines Drehstromverteilers anzuschließen und entsprechend auszulesen (**Bild 3**).

In Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH wurden am Standort Schwieberdingen zwei weitere Prototypen realisiert und in Kraftverteilern auf zwei Gebäuden installiert. Alle drei Prototypen basieren auf handelsüblichen Hardwarekomponenten und verwenden dieselbe Software. Die Prototypen der Robert Bosch GmbH und der Hochschule für Technik Stuttgart unterscheiden sich lediglich in der Verwendung des LoRaWAN-Netzwerkserver.

Während der Prototyp der Hochschule die TTN Cloud-Services nutzt, hat sich Bosch aufgrund der Sicherheitsrichtlinien des Unternehmens für eine On-Premise-Lösung entschieden. Derzeit wird auch an der Hochschule eine

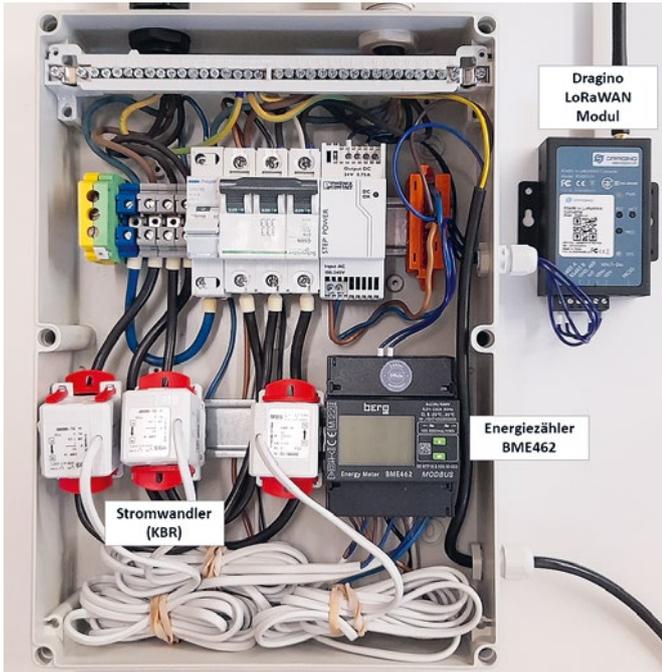


Bild 3: Mobiler Prototyp des Smart Meter Retrofit-Systems.

On-Premise-Lösung evaluiert. Die übermittelten Daten enthalten Informationen zur Spannung, Stromstärke, Leistung in kW sowie Energie in kWh. Diese können problemlos in ein Energiemonitoringsystem integriert werden.

Das System besitzt ein großes Potenzial, da es aufgrund des Einsatzes standardisierter IoT-Technologien und Open Source Software nicht nur kosteneffektiv ist, sondern auch ohne aufwändige bauliche Maßnahmen schnell installiert werden kann. Der Aufbau an einem Drehstromkraftverteiler mit jeweils drei einzelnen Leitern besteht aus drei KBR 18 50/1A Stromwandlern, einem Berg BME462 Smartmeter, einem Dragino RS485 auf LoRaWAN Modul und einem Dragino LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway. Die Gesamtkosten für die eingesetzte Hardware belaufen sich mit einem LoRaWAN Gateway auf ca. 1200 Euro und ohne ein Gateway auf ca. 950 Euro zuzüglich Installationskosten durch einen Elektroinstallateur. Das LoRaWAN Gateway muss abhängig von der zu erfassenden Infrastruktur nur einmal angeschafft werden. Zudem ist es hochgradig skalierbar und kann an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Die erfolgreiche Installation und kontinuierliche Evaluation machen die entwickelte Retrofit-Lösung zu einem vielversprechenden Instrument für die effiziente Überwachung und Steuerung des Energieverbrauchs in industriellen Liegenschaften.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13FH9I09IA gefördert.

Literatur

- [1] Klimaschutz in Zahlen – Aktuelle Emissionstrends und Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. BMWK. Berlin 2022
- [2] Dena-Leitstudie: Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050, Deutsche Energie Agentur (dena). Berlin 2018
- [3] Berg Energie GmbH: Berg Energie GmbH. URL: [berg-energie.de/wie-energiemonitoring-zur-steigerung-der-betrieblichen-efizienz-beitragt/](https://www.berg-energie.de/wie-energiemonitoring-zur-steigerung-der-betrieblichen-efizienz-beitragt/), Abrufdatum 19.12.2023.
- [4] Deutsche Energie Agentur GmbH (dena): Energieeffizienz durch Digitalisierung – Daten als Potenziale für Energiewende und Klimaschutz. Berlin 2023.
- [5] Rusch, S.: Industr.com. Q-LOUD. 2019. URL: www.industr.com/de/mit-retrofit-zum-smarten-energie-datenmanagement-2356432, Abrufdatum 19.12.2023.
- [6] EHA – Energie Handels Gesellschaft mbH & Co. KG (EHA): EHA. 2020. URL: www.eha.net/blog/details/zwischenzaehler-strom-untermessung-strom.html#:~:text=Die%20Unterz%C3%A4hler%20erfassen%20den%20Stromverbrauch%20einzelner%20Verbraucher%20%28z.,und%20erm%C3%B6glichen%20so%20die%20exakte%20Zuordnung%20des%20Stromverbrauch, Abrufdatum 19.12.2023.
- [7] Jehle, R.: Powertage. Tesenso GmbH – IoT Solutions. 2022. URL: content-powertage.conteo.site/de/c/iot-retrofit-loesung-fuer-energiezaehler-schafft-planungsgrundlagen-fuer-industrie-areal.22201, Abrufdatum 19.12.2023.
- [8] GMS – Mediaservices: GMS -Mediaservices. 2021. URL: www.gms-mediaservices.de/news-2021/retrofit-loesungen-fuer-smarte-gebaeude/, Abrufdatum 19.12.2023.
- [9] Bachor, M.; Freunek, M.: IoT-Lösungen als Alternative zum klassischen Smart Metering. In: Realisierung Utility 4.0, Band 2. Wiesbaden 2019.
- [10] Pereira, C. J.: Industry of Things, Q-Loud GmbH. 2018. URL: www.industry-of-things.de/nicht-ohne-mein-m-bus-smartes-energiemanagement-dank-retrofit-a-739328/, Abrufdatum 19.12.2023.
- [11] Berg GmbH: [www.berg-energie.de](https://www.berg-energie.de/wp-content/uploads/2021/09/Datenblatt_BME_462.pdf). 2021. URL: www.berg-energie.de/wp-content/uploads/2021/09/Datenblatt_BME_462.pdf, Abrufdatum 19.12.2023.
- [12] electronics-tutorials.ws: [www.electronics-tutorials.ws](https://www.electronics-tutorials.ws/de/transformatoren/stromwandler.html). 2019. URL: www.electronics-tutorials.ws/de/transformatoren/stromwandler.html, Abrufdatum 19.12.2023.
- [13] Berg GmbH: www.berg-energie.de. 2023. URL: www.berg-energie.de/stromwandler-funktion-anwendung/, Abrufdatum 19.12.2023.
- [14] Berg GmbH: www.berg-energie.de. 2021. URL: www.berg-energie.de/wp-content/uploads/2021/02/Datenblatt_KBR_18.pdf, Abrufdatum 19.12.2023.
- [15] Deos AG: LoRaWAN in der Gebäudeautomation. Rheine 2021.
- [16] GSMA Mobile IoT: 3GPP Low Power Wide Area Technologies. Zürich 2016.
- [17] ChirpStack: ChirpStack. URL: www.chirpstack.io/, Abrufdatum 11.12.2023.
- [18] Milesight: Milesight. URL: www.milesight.com/iot/product/lorawan-gateway/ug65, Abrufdatum 11.12.2023.
- [19] Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech (Hrsg): Open Source als Innovationstreiber für Industrie 4.0. München 2022.
- [20] Bosch Connected Industry: Bosch Connected Industry – Digital Twins und Ecosystem. URL: www.bosch-connected-industry.com/de/en/portfolio/bosch-semantic-stack/ecosystem, Abrufdatum 14.11.2023.
- [21] RedHat: RedHat. 2023. URL: www.redhat.com/de/topics/open-source/what-is-open-source, Abrufdatum 17.11.2023.
- [22] Robert Bosch GmbH: Bosch IoT-Suite. URL: bosch-iot-suite.com/, Abrufdatum 28.12.2023.
- [23] Amazon AWS: Amazon AWS. URL: aws.amazon.com/de/what-is/mqtt/, Abrufdatum 19.11.2023.