

National 5G Energy Hub

Einführung zukunftssträchtiger Kommunikationsstandards in der Energietechnik

Teilprojekt: Open Source-Plattform für Energiesysteme

- Schlussbericht -

Projektleiter Prof. Dr.-Ing. habil. J. Seifert / Prof. Dr.-Ing. P. Schegner /
Prof. Dr.-Ing. F. Fitzek

Bearbeiter Dr.-Ing. M. Knorr / Dipl.-Ing. S. Wiemann
Dipl.-Ing. S. Krahmer / Dipl.-Ing. E. Gasch
Dr.-Ing. R. Bonetto / I. Sychev, M. Sc. / Dr.-Ing. W. Kozak

Förderkennzeichen: 03ET1561A

Dresden, den 4. Mai 2021

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Copyright liegt bei den Autoren

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzbericht	2
1.1	Aufgabenstellung und Kurzfassung	2
1.2	Voraussetzungen	2
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
1.4	Stand von Wissenschaft und Technik	6
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2	Eingehende Darstellung	7
2.1	Verwendung Zuwendung und Ergebnis	7
2.2	Zahlenmäßiger Nachweis	11
2.3	Notwendigkeit der Arbeit	11
2.4	Voraussichtlicher Nutzen - Fortschreibung Verwertungsplan	11
2.5	Fortschritt während Projektlaufzeit bei anderen Stellen	12
2.6	Veröffentlichungen	12
3	Erfolgskontrollbericht	14
3.1	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen	14
3.2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens	14
3.3	Fortschreibung des Verwertungsplans	15
3.4	Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben	15
3.5	Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	15
3.6	Einhaltung Ausgaben- und Zeitplanung	16

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung und Kurzfassung

Zur Umsetzung der Energiewende und der damit verbundenen Transition von einem zentralen hin zu einem dezentralen Energiesystem ist eine gezielte Initiative zur Einführung moderner Kommunikationsstrukturen im Bereich der dezentralen Energietechnik notwendig. Der National 5G Energy Hub hat Digitalisierungs- und Anwendungsroutinen geschaffen, um Nutzer in die Lage zu versetzen, neue Technologien für die Energiewende zu entwickeln. Der National 5G Energy Hub adressiert dabei insbesondere die Anwendung von modernen Kommunikationstechnologien zur Einbindung von Sensorik und Aktorik zur Erbringung von energietechnischen Dienstleistungen. Im Rahmen des Projekts wurde eine grundlegende softwaretechnische Struktur erarbeitet, die die wesentlichen Elemente der Datenerfassung, Datenübertragung sowie der Datenspeicherung und Datenvisualisierung umfasst. Hinsichtlich der Datenerfassung und -organisation wurde eine skalierende Lösung in Form einer Cloud-Plattform umgesetzt.

Die Funktionalität der Plattform wurde anhand von vier Use Cases, die das Gebäude, das elektrische Netz als auch ein gesamtes Quartier betrachten, evaluiert. An jedem Use Case wurde die Funktionalität von 5G und weiterer bekannter funkbasierter Technologien gespiegelt.

1.2 Voraussetzungen

Das Projekt „National 5G Energy Hub – Phase I“ wurde als Verbundprojekt von der RWTH Aachen, der TU Dresden und Ericsson bearbeitet. An der RWTH Aachen waren der Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik – EBC, das Institut Automation of Complex Power Systems – ACS, der Lehrstuhl für theoretische Informationstechnik - TI und der Lehrstuhl Software Development – SE beteiligt. An der TU Dresden waren der Lehrstuhl für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, der Lehrstuhl für Elektroenergieversorgung sowie der Deutsche Telekom Chair of Communication Networks beteiligt.

Die Deutsche Telekom AG, E.ON SE, die Techem GmbH, der VDZ (Spitzenverband der Gebäudeenergietechnik) sowie die Stadt Dresden haben das Projekt als assoziierte Partner begleitet. Die Forschungseinrichtungen haben eine hohe Kompetenz im Bereich der Auslegung, dem intelligenten Management und der Optimierung von Energieversorgungsstrukturen eingebracht. Als interdisziplinäre Gruppe aus dem Bereich des Maschinenbaus, der Elektrotechnik sowie der Informatik schließt dies auch die Betrachtung neuer Kommunikationsstandards mit ein.

An der Schnittstelle von Energie und Informations- und Kommunikationstechnologie siedeln sich auch die Arbeiten von Ericsson an. Mit innovativen, vernetzten Lösungen wird die Einführung des Mobilfunkstandards 5G vorangetrieben. Für das Projekt wurden die technischen Optionen und Randbedingungen in der Nutzung des neuen Mobilfunkstandards eingebracht.

Erst während der Projektlaufzeit begann die erste Ausbaustufe von 5G in Deutschland und die ersten 5G-fähigen Endgeräte kamen auf den Markt. So wurde für den frühen Test der Netzwerkkintegration der Plattformkomponenten auf bestehende Kommunikationsschnittstellen zurückgegriffen. Die Anwendung von 5G konnte im Labor mit der Unterstützung von Ericsson und Nutzung von Prototypen der 5G Base Station getestet werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundvorhaben wurde in die folgenden sechs Arbeitspakete untergliedert.

AP 1 Kommunikationsstruktur und Use Cases

Im Arbeitspaket 1 wurden von den Verbundpartnern fünf Use Cases mit unterschiedlichen Schwerpunkten in der urbanen Energieversorgung gemeinschaftlich entwickelt:

- Netzschutz im Niederspannungsnetz
- Regionales virtuelles Kraftwerk
- Cloudbasierte Regelung energetischer Systeme von Gebäuden
- NS/MS-Netz: Monitoring und Regelung mit PMU
- Quartiersmonitoring und -kontrolle im Energiemarkt

Für jeden Use Case wurden die informations- und kommunikationstechnischen Anforderungen aus 5G Sicht untersucht und Lösungen empfohlen, sowie Zeitpläne und Voraussetzungen für den Einsatz von groß angelegten Anwendungsfällen in kommerziellen Netzwerken bereitgestellt. Diese Betrachtungen werden im Abschlussbericht von Ericsson dargestellt. Die Umsetzung der Use Cases in der zu entwickelnden Plattform und deren Demonstration an entsprechenden Demonstratoren wurde von den Universitäten übernommen und die Use Cases 1 und 2 federführend von der TU Dresden bearbeitet und die Use Cases 3, 4 und 5 von der RWTH Aachen. Entsprechend befinden sich die detaillierten Darstellungen in den jeweiligen Abschlussberichten.

AP 2 Funkbasierte Sensoren und Aktoren

Dieses Arbeitspaket hat sich mit der Entwicklung geeigneter drahtloser Schnittstellen für Sensoren und Aktoren beschäftigt. Besonderes Augenmerk wurde in diesem Bereich auf die komfortable Integration von drahtlosen Geräten in ein übergeordnetes Überwachungs- und Steuerungs- oder Regelungssystem gelegt. Gemeinsam mit dem Projektpartner Ericsson wurden die Anforderungen für zukünftige 5G Schnittstellen abgestimmt.

Seitens der TUD wurde ein Messgerät für das Niederspannungsnetz entwickelt. Zudem wurden Untersuchungen zur Abdeckung innerhalb von Gebäuden bei drahtloser Datenübertragung unter Verwendung der LoRaWAN Technologie durchgeführt.

Seitens der RWTH wurde ein Smart Transducer Interface entwickelt. Das Interface ist in der Lage eine breite Klasse von industriellen Analogwandlern mit Strom- und Spannungseingangs- sowie -ausgangssignalen zu verbinden. Beide Ansätze haben die Grundsätze:

- Kostengünstige Komponenten
- Frei programmierbar
- Verwendung verschiedener Kommunikationsstandards um Daten mit der Cloud auszutauschen

verfolgt.

Ericsson hat im 5G Labor die Anforderungen an die Kommunikationslatenz aller Use Cases bewertet und deren Erfüllbarkeit überprüft. Zusätzlich wurden die 5G-ICT-Anforderungen für die Anwendungsfälle, in denen 104-Protokolle verwendet werden, definiert und unter Verwendung des 5G-Netzwerks getestet.

AP 3 Gateway-Entwicklung

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes lag der Fokus auf der Entwicklung günstiger Gatewaysysteme, welche als Bindeglied zwischen der Feldebene in Gebäuden oder elektrischen Netzen und dem Kernnetzwerk der IT-Infrastruktur dienen. An der RWTH wurde hierfür auf Basis der Open Source Gateway-Software OpenMUC ein Datenlogger Device entwickelt. Mit dieser Einheit ist es

möglich Automationsnetzwerke mit mehreren hundert Geräten mit tausenden von Datenpunkten in wenigen Minuten auszulesen und entsprechende Datenobjekte automatisiert zu erstellen. Die Messdaten werden hierbei entweder zyklisch aktiv vom Gateway von den einzelnen Geräten abgerufen oder auf Basis einer Schwellwertüber oder -unterschreitung von den Geräten aktiv an das Gateway gesendet.

An der TU Dresden wurde ein in Vorgängerprojekten entwickeltes Smart-Gateway an die Anforderungen der betrachteten Plattform angepasst. Hierbei konnte die Datenübertragung entsprechend der gewählten Protokollstruktur realisiert und thermische sowie elektrische Messdaten an die Plattform übermittelt werden.

AP 4 Cloud-Plattform

Kernelement des Projektes ist die Entwicklung einer Open-Source Cloud-Plattform. Für den National 5G Energy Hub ist das Cloud Computing nach der NIST Definition ein Modell für den allgegenwärtigen, bequemen On-Demand Netzwerkzugriff auf einen gemeinsamen Pool von konfigurierbaren Computerressourcen. Als Cloud-Plattform sind innerhalb dieses Projektes alle Implementierungen von Softwarekomponenten zusammengefasst. Die im Projekt entworfene Plattformarchitektur basiert hauptsächlich auf der frei verfügbaren FIWARE-Architektur. Die TU Dresden und die RWTH Aachen hosten jeweils eine eigene Plattform. Perspektivisch ist geplant, dass auch das Forschungszentrum Jülich eine solche Plattform betreibt. So können die Lauffähigkeit auf verschiedenen Systemen und die Kommunikation verschiedener Systeme miteinander getestet und bewertet werden.

Entsprechend der jeweiligen Bearbeitungsschwerpunkte werden in den Abschlussberichten der TU Dresden und der RWTH Aachen Teilaspekte entsprechend der folgenden Aufstellung dargestellt.

TU Dresden:

- Keycloak – Ein Identity Management System (IdM)
- Mosquitto – Ein MQTT-Message-Broker
- ENTIRETY – Tool für das Einpflegen von Hardware in die Plattform
- Zeitreihendatenbank Bewertung
- Monitoring Tool
- Kubernetes und Rancher – Container-Orchestrierung für einen Servercluster

RWTH Aachen:

- Traefik – Ein HTTP Reverse Proxy
- Louketo – Ein Proxy, welcher Anfragen gegen ein IdM authentifiziert
- FILIP – Eine Bibliothek, welche die FIWARE-API bedient
- SARGON – Ein Datenmodell für den Smart-Energy-Sektor
- Dashboard
- DockerSwarm und Portainer – Container-Orchestrierung für einen Servercluster

AP 5 Datensicherheit und Datenschutz

Für die gesamte Plattformarchitektur unter Einbindung der Gateways wurden folgende maßgebliche Schwerpunkte bzgl. des Themas Sicherheit identifiziert:

Absicherung der Cloud / Clouddienste:

Die Absicherung der Cloud ist durch Open-Source-Komponenten gestaltet. Mit OpenID-Connect und OAuth2 sind aktuelle Standards bezüglich Authentifizierung und Autorisierung umgesetzt. Außerdem werden zeitgemäße kryptographische Verfahren zur Transportverschlüsselung verwendet.

Netzwerksicherheit:

Nur zwei Komponenten der Plattform kommunizieren über offene Ports direkt mit dem Internet. Der restliche Traffic wird durch Proxies weitergeleitet, sodass nur wenige mögliche Einfallstore entstehen.

Bedrohungsanalyse und Angreiferdetektion:

Durch die PHYSEC GmbH wurde im Unterauftrag eine Plattformprüfung durchgeführt. Der Fokus der Prüfung lag auf der Konfiguration der einzelnen Komponenten und der Kommunikation untereinander. Des Weiteren wurde die Inbetriebnahme eines neuen Gateways / Edge Devices und neuer Geräte / Sensoren / Aktoren konzeptionell analysiert.

Als weiterer Aspekt der Datensicherheit wurde ein Dienst zur Angreiferdetektion untersucht, welcher auf dem Prinzip der Honigtöpfe („Honeypots“) beruht. Mehrere dieser „Honeypots“ werden von der Software „HoneySens“ in einem Netzwerk verteilt und administriert.

AP 6 Projektbegleitende Maßnahmen

Zur Dokumentation der Projektergebnisse und zur Öffentlichkeitsarbeit wurde eine Homepage erstellt, um möglichst frühzeitig Erkenntnisse aus dem Projekt zur Verfügung zu stellen. Die Homepage ist über folgenden Adressen zu erreichen:

1. www.n5geh.de
2. www.n5geh.eu
3. www.n5geh.com

Um ein kontinuierliches Softwaremanagement zu ermöglichen, fand die gesamte Entwicklungsarbeit unter GitHub statt, worüber die entwickelten Bibliotheken und Anwendungen alle Open Source gestellt wurden und unter <https://github.com/N5GEH> verfügbar sind. Neben der Verwaltung der Quelltexte sind zusätzlich Tutorials hinterlegt, welche die Installation und Nutzung der Software erläutern. Die im Projekt entstandenen Services werden zusätzlich als Container-Anwendung auf Docker Hub bereitgestellt und stehen zum freien Download. Eine aktuelle Liste der bereitgestellten Software ist unter <https://hub.docker.com/u/n5geh> zu finden. Weitergehende Dokumentationen können im Projekt-Wiki unter <https://wiki.n5geh.de> gefunden werden.

Die Ergebnisverbreitung fand im Rahmen unterschiedlicher Präsentationen und der Durchführung eines Führungskräfteseminars statt. Die Gesamtergebnisvorstellung unter der Beteiligung einer großen Anzahl von unterschiedlichen Verbandsvertretern und dem BMWi fand im Rahmen eines online Workshops statt.

1.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Bei der Bearbeitung des Projektes wurde an eine Reihe von Ergebnissen aus vorangegangenen Projekten angeknüpft.

Als wesentliche Komponente ist hierbei die Verwendung des Open-Source-FIWARE-Frameworks zu nennen, welches im Rahmen eines EU Projektes entstanden ist. Fiware stellt unabhängige und microservicebasierte Komponenten bereit, die sowohl untereinander als auch mit Anwendungen von Drittanbietern kombiniert werden können, um intelligente Komplettlösungen zu ermöglichen. Komponenten von Fiware wurden für die N5GEH-Plattform genutzt und an die spezifischen Anforderungen adaptiert.

Hinsichtlich der Anwendungsapplikationen konnten für den gewählte Use Cases „Regionales virtuelles Kraftwerk“ (RVK) Algorithmen genutzt werden, die in Vorgängerprojekten zum RVK erarbeitet wurden. Es erfolgte eine Anpassung und Erweiterung der Algorithmen auf die Datenstruktur der N5GEH-Plattform. Dies schließt die konsequente Aufteilung in Microservices ein.

Hardwareseitig erfolgte die Nutzung von Entwicklungen aus den RVK Vorgängerprojekten in Form eines Smart-Gateways. Bei der Weiterentwicklung des Gateways erfolgte ein Austausch mit dem Projekt „Thermisch/Elektrisches Anlagen EKG von Gebäuden und Quartieren“ (TEK-EKG), welches aktuell ebenfalls an der TU Dresden bearbeitet wird.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Forschungsvorhaben wurde im Verbund mit einer weiteren Hochschulen sowie einem Industriepartner (Aufstellung unten) bearbeitet. Sowohl an der TU Dresden als auch an der RWTH Aachen waren mehrere Institute beteiligt. Die Zielstellung der Zusammenarbeit bestand in der Entwicklung einer Open Source Softwareplattform zur Regelung von Energiesystemen. Neben den direkten Kooperationspartnern wurde das Projekt durch assoziierte Partner begleitet.

Kooperationspartner:

- RWTH Aachen University
E.ON Energy Research Center
Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate/
Institute for Automation of Complex Power Systems
Mathieustr. 10, 52074 Aachen
- Ericsson
Ericsson Allee 1
52134, Herzogenrath

Assoziierte Partner:

- E.ON SE
- Landeshauptstadt Dresden
- Techem GmbH
- VdZ – Forum für Energieeffizienz in der Gebäudetechnik e.V.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung Zuwendung und Ergebnis

Die Aufgabenstellung des Vorhabens bestand zusammenfassend darin, eine Open Source Softwareplattform für Energiesysteme zu erstellen. Dies umfasste die Festlegung und Umsetzung einer geeigneten Architektur unter Berücksichtigung zuvor festgelegter Use Cases. Weiterhin sollten die drahtlose Datenerfassung und -übertragung sowie der Datenschutz und die Datensicherheit mit betrachtet werden.

Die im Projektantrag formulierten Ziele wurden innerhalb des Forschungsvorhabens weitestgehend erreicht. Eine detaillierter Vergleich hinsichtlich der in den Arbeitspaketen formulierten Zielen ist bereits im Kurzbericht im Abschnitt 1.3 angegeben. Nachfolgend konzentriert sich die eingehende Darstellung daher auf ausgewählte Ergebnisse.

Erstellung von Use Cases

Es konnten geeignete Use Cases festgelegt werden, aus welchen sich die Anforderungen für die Kommunikationsarchitektur ableiten lassen. Hierbei wurden gezielt Use Cases mit berücksichtigt, welche Schlüsseigenschaften des neuen Mobilfunkstandards 5G adressieren. Wie die Abb. 2.1 verdeutlicht, betrifft dies eine geringe Latenz für den Use Case „Unterstützung des Netzschutzes“ und eine hohe Anzahl von Datenpunkten für den Use Case „Regionales virtuelles Kraftwerk“. Diese Use Cases repräsentieren erste exemplarische Fälle und die dargestellte IKT-Struktur wurde bewusst so gewählt, dass sie gut auf weitere Fälle übertragbar ist.

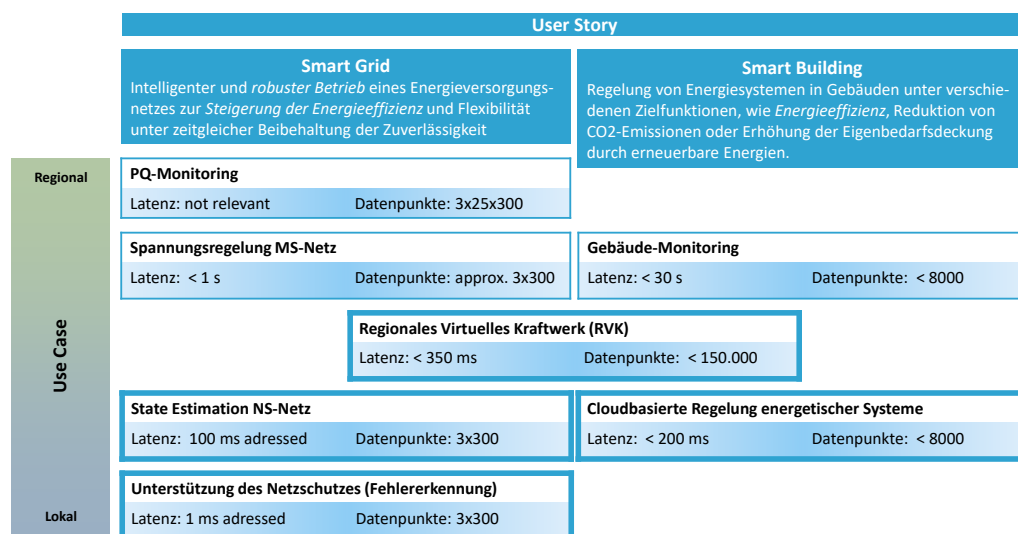


Abb. 2.1: Überblick über gewählte Use Cases und User Storys

Entwicklung der Cloud Plattform

Die Struktur der Plattform wurde aus den Anforderungen abgeleitet, welche sich aus den einzelnen Use Cases ergeben.

Basierend auf Kernkomponenten von FIWARE wurde eine Software-Architektur (Bezeichnung als Plattform) weiterentwickelt. Diese verlagert die Datenübertragung und -verarbeitung von objektspezifischen, energetischen Anwendungen auf ein übergeordnetes Backend. Auf dieser Basis kann, unabhängig von Feldbusprotokollen und firmenspezifischen Lösungen, ein allgemeiner Kommunikationszugang für alle energetischen Anwendungen erreicht werden. Diese cloudbasierte Architektur muss nicht mehr physikalisch mit der Topologie eines Verteilgebietes übereinstimmen. Vielmehr ist die Plattform so gestaltet, dass skalierbare Cloud-Anwendungen regional für

Dienste verantwortlich sein können. Dies betrifft z. B. Lastverteilung, Eigenoptimierung, Nachforderung von Hilfsdiensten oder weitere Dienste Dritter.

In der Folge wurden auf Basis der Containerisierungstechnologie von Docker Softwaremodule (als Services bezeichnet) für Kern- und individuelle Anwendungsfälle entwickelt. Jedes einzelne Softwaremodul wird als Container verpackt und in Python geschrieben. Bezogen auf den Anwendungsfall „Regionales virtuelles Kraftwerk“ kann die Kommunikationsarchitektur mit einem Ebenenmodell beschrieben werden (vgl. Abb. 2.2).

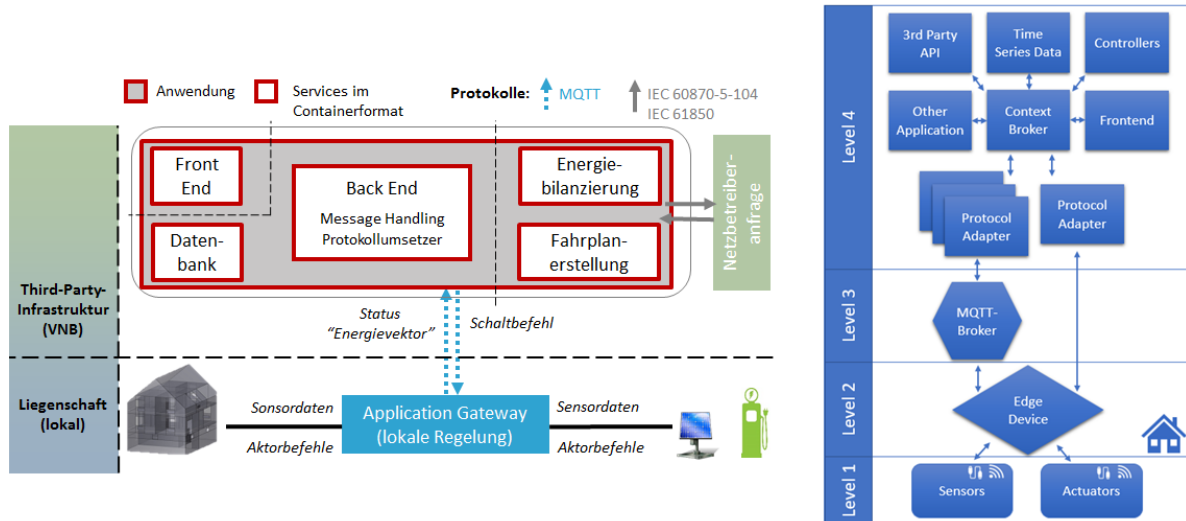


Abb. 2.2: Grundsätzliche Struktur der Plattform (rechts) und Anwendung auf den Use Case RVK (links)

Ebene 0 enthält alle Sensor- und Aktorsysteme, die auf unterschiedliche Weise (z. B. Kabel, Wi-Fi, Lo-RaWAN) mit einem Smart-Edge-Gerät auf Ebene 1 verbunden sind. Dieses Edge-Device arbeitet einerseits als Gateway zur Plattform über MQTT, andererseits kann es eine Fall-Back-Lösung für kritische Systemfunktionalität im Falle eines Verbindungsabbruchs bereitstellen. Die Plattform ist so konzipiert, dass sie mit mehreren Protokolladaptern (als IoT-Agenten bezeichnet) zusammenarbeitet. Im RVPP-Anwendungsfall wird MQTT für den Austausch von Informationen auf Ebene 2 verwendet.

Darüber hinaus können Nachrichten z.B. als JSON oder UltraLight-Protokoll formatiert werden. Es ist auch möglich, andere Netzwerkprotokolle wie OPC-UA mit der gleichen Plattform zu verwenden, sofern der entsprechende IoT-Agent eingesetzt wird. Die Daten werden dann an einen Context-Broker auf Ebene 3 gesendet, um sie an andere Dienste weiterzuleiten (z. B. anwendungsfallspezifische Anwendungen, Datenerfassung, Steuerungen, Benachrichtigungsdienste). Andere Anwendungen wie ein Frontend-Dienst und APIs von Drittanbietern werden auf der gleichen Ebene bereitgestellt. Um das Deployment dieser Dienste zu skalieren, können Container-Orchestrations-Systeme wie „Kubernetes“ oder „Docker Swarm“ verwendet werden. Zur Vereinfachung eines solchen Ansatzes werden Installationsdateien (Compose-Dateien) bereitgestellt, die eine Grundkonfiguration der oben genannten Dienste enthalten.

Anwendungen für den Use Case RVK

Für diesen Anwendungsfall werden die Messdaten von einem mit einem Gateway verbundenen Energiesystem oder zu Testzwecken von einem Simulator bereitgestellt (vgl. Abb. 2.3). Die Daten werden zunächst in den Diensten zur Abschätzung des Speicherzustands und zur Vorhersage des thermischen und elektrischen Bedarfs verarbeitet. Diese Dienste können lokal auf einem Gateway oder zentral in der Cloud bereitgestellt werden und als Ergebnis wird ein Energietrendband abge-

leitet. Durch die Verwendung der Energietrendbänder mehrerer Gateways in einem Cloud-Dienst wird ein Zeitplan erstellt. Daher ist eine Anbindung an einen Energiehandelsplatz möglich, welcher aber in diesem Projekt nicht implementiert wurde. Abschließend setzt der Service „Fahrplan Manager“ den Fahrplan in individuelle Steuersignale für die Geräte um.

Die oben beschriebenen Dienste laufen alle in der in Abb. 2.2 dargestellten Struktur und nutzen einen MQTT-Broker und einen Context-Broker sowie eine Datenbank und eine Frontend-Applikation.

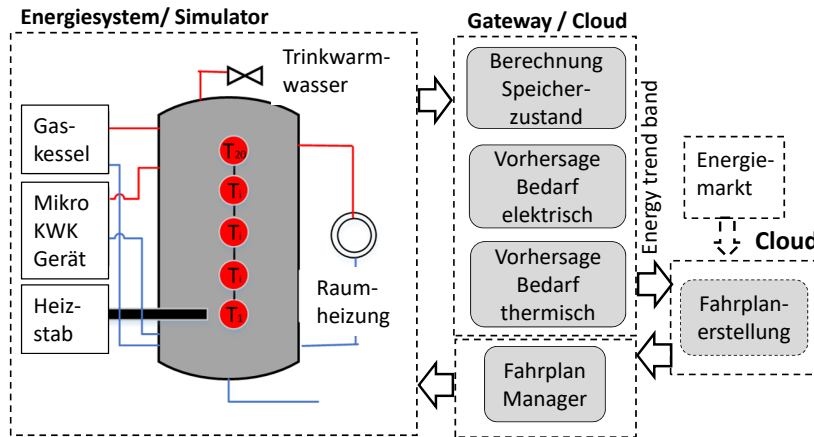


Abb. 2.3: Interaktion von Microservices, Use Case RVK

Anwendungen für den Use Case Netzschutz im Niederspannungsnetz

Die hohen Anforderungen dieses Use Case an die Latenz bedingen eine Modifikation der allgemeinen N5GEH Softwarestruktur entsprechend der Abb. 2.4.

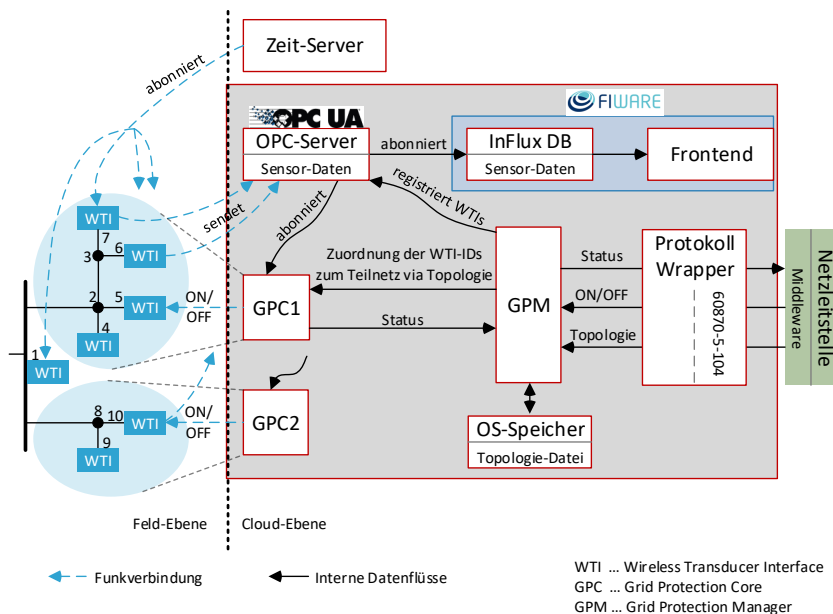


Abb. 2.4: Anwendungssoftware-Architektur für den Use Case Netzschutz

Innerhalb der Struktur kommunizieren die Microservices wie folgt. Die WTIs interagieren bidirektional mit einem OPC-UA Server, dem Einstiegspunkt zu den Use Case-spezifischen Microservices sowie zum FIWARE-unterstützten Teil der Softwareapplikation. Der Verteilnetzbetreiber (DSO) muss eine Liste der beobachteten Knoten und die entsprechenden WTI-IDs übermitteln. Dem

Netzschutzmanager wird die Verwaltung des gesamten niederspannungsseitigen Netzbereichs eines MS/NS-Transformators übertragen. Damit einher geht die Einrichtung eines OPC-UA Servers. Niederspannungsseitige Teilnetze werden wiederum von je einem Netzschutzkern verwaltet. Aufgrund der Kritikalität des Anwendungsfalls können sich die WTIs nicht frei am OPC-UA Server anmelden, sondern müssen einmalig vom Anwender (DSO) initiiert werden und sich dann mit einem entsprechenden Knoten am OPC-UA Server verbinden.

Datenschutz und Datensicherheit

Zentrale Aspekte der Absicherung von Clouddiensten sind Authentifizierung und Autorisierung von Nutzern bzw. Applikationen. Mit Hilfe der Authentifizierung wird die Identität einer Entität mit Hilfe eines Identity-Providers festgestellt. Im Rahmen dieses Projektes wird OpenID-Connect genutzt, um Ressourcen vor dem Zugriff unautorisierter Entitäten zu schützen. Als Identity-Provider wird das IdAM (Identity and Access Management) Keycloak verwendet, welches Authentifizierung und Autorisierung entsprechend dem OpenIDConnect-Standard ermöglicht.

Erprobung und Demonstration der Plattform

Zur Veranschaulichung der Use Cases RVK und Netzschutz wurde ein Hardware-Demonstrator erstellt. Wie die Abb. 2.5 zeigt, beinhaltet der Demonstrator einen Raum sowie eine Heizzentrale für den Use Case RVK sowie ein kleines Elektroenergienetz für den Use Case Netzschutz. Neben Demonstrationszwecken eignet sich der Versuchsaufbau sehr gut, um die Software zu testen, was auch das Zusammenwirken mit Hardwareelementen beinhaltet.

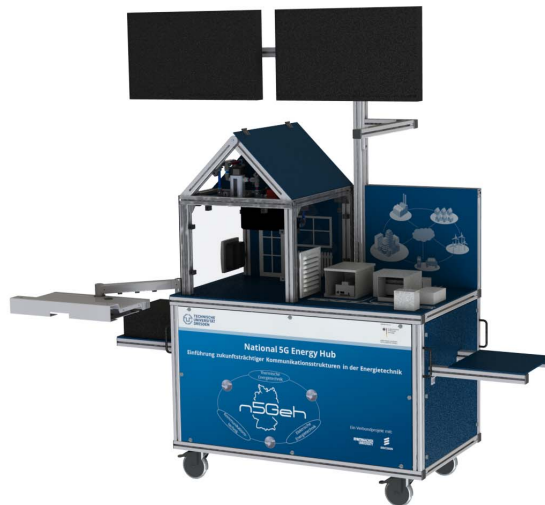


Abb. 2.5: Ansicht des Demonstrators, inkl. angedeuteter Modelle für die Use Cases Regionales virtuelles Kraftwerk und Netzschutz

Wichtiges Element des Demonstrator-konzeptes sind vier menschliche Interaktionspunkte (HID - Human Interface Device), welche folgende Eingriffe ermöglichen:

- Maus, Tastatur, Touchscreen zur Steuerung der Plattform
- Drehregler zur Beeinflussung der Beleuchtungskurve
- Kippschalter zum Einlegen eines Fehler auf Seite des Beispielnetzes
- Drehregler zur Wärmeabfuhr auf Seiten des Beispielhauses

Um die Demonstration auch virtuell zu ermöglichen, wurde vom Demonstrator ein Video erstellt und unter <https://n5geh.de/demonstrator/> veröffentlicht.

2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der Verwendungsnachweis aus finanzieller Sicht erfolgt in einem gesonderten Bericht und wurde von der Innenrevision der TU Dresden ausführlich geprüft.

2.3 Notwendigkeit der Arbeit

Die Erstellung einer open source Softwareplattform für Energiesysteme ist eine notwendige Voraussetzung, um die Umsetzung anwendungsbezogener Digitalisierungsprojekte zu ermöglichen. Um eine skalierende, sichere, modulare, performante und offene Architektur zu erlangen, waren grundsätzliche Entwicklungen am Backend erforderlich, wobei gezielt bestehende Open Source Softwarebausteine (wie z.B. Fiware oder Keycloak) mit einbezogen wurden. Zudem war die Integration von Schnittstellen zum 5G Netz notwendig, um die Vorteile des neuen Mobilfunkstandards auch für die Energietechnik nutzbar zu machen.

Die intensive Betrachtung und die Umsetzung von Use Cases war erforderlich, um das Lastenheft für die Plattform zu erstellen und außerdem die Funktionalitäten zu testen. Die Erstellung eines Hardwaredemonstrators liefert hinsichtlich der Transformation der Ergebnisse an interessierte Kreise einen hohen Mehrwert.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen - Fortschreibung Verwertungsplan

Die innerhalb des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse sowie die entwickelte Soft- und Hardware liefern einen wichtigen Beitrag für die Schaffung von Voraussetzungen zur schnellen Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in der Energietechnik. Auf Basis der Ergebnisse können folgende Verwertungen formuliert werden:

- Eine open source Software-Plattform für Energiesysteme wurde entwickelt und steht zum Download bereit.
- Die Plattform ist flexibel und modular aufgebaut. Es ergeben sich vielfältige Möglichkeiten des Einsatzes. Schon während der Projektlaufzeit wurden Elemente der Plattform zur einheitlichen Datenerfassung von Versuchsständen oder dem Monitoring von Gebäudedaten produktiv eingesetzt.
- Die Use Cases wurden so gewählt, dass wesentliche Bereiche der Energietechnik bereits adressiert werden. Eine schnelle Erweiterung bzw. Anpassung der Use Cases kann somit gewährleistet werden.

Abschließend wird darauf verwiesen, dass die Ergebnisse dieser Arbeit im Rahmen universitären Lehrveranstaltungen und Vortragsreihen verwendet werden. Darüber hinaus wurden die Voraussetzungen geschaffen, das Projekt in einer 2. Phase fortzuführen, wobei stärker auf unternehmensspezifische Anwendungsfälle fokussiert werden soll.

2.5 Fortschritt während Projektlaufzeit bei anderen Stellen

Im Bereich vernetzter Energiemanagementsysteme unter teilweiser Einbeziehung von Cloud-Architektur gab es während der Projektlaufzeit einige Entwicklungen bei anderen Stellen. Im Rahmen des Projektes SOGNO („Service oriented grid for the network of the future (SOGNO)“, www.sogno-energy.eu.) wurden cloudbasierte Dienste für Betreiber von elektrischen Energieverteilungsnetzen entwickelt. Dabei wurden funkgestützte Messgeräte verwendet. Die Umsetzung scheint einem ähnlichen Ansatz zu folgen, wenngleich der Fokus ausschließlich auf Mehrwertdiensten für Verteilnetzbetreiber liegt. Im Rahmen des Projektes AnyPlace („Adaptable Platform for Active Services Exchange“, www.anyplace2020.org.) wurde sich dem nutzerzentrierten Energiemanagement/-optimierung von Liegenschaften angenommen. Im Rahmen von C/sells („C/sells“, www.csells.net.) steht die Steuerung des Endnutzer sowie dessen Energiemanagement seitens des Verteilnetzbetreibers im Fokus.

2.6 Veröffentlichungen

Konferenzbeiträge:

- Sychev, I.; Zhdanenko, O.; Bonetto, R.; Fitzek, F. H. P.: *ARIES: Low Voltage smArt gRid dIScrete Event Simulator to Enable Large Scale Learning in the Power Distribution Networks*, 2018 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), pp.1-6, Oct 2018, doi: 10.1109/SmartGridComm.2018.8587538
- Bonetto, R., Sychev, I.; Fitzek, F. H. P.: *Power to the Future: Use Cases and Challenges for Mobile, Self Configuring, and Distributed Power Grids*, 2018 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), pp. 1-6, Oct 2018, doi: 10.1109/SmartGridComm.2018.8587582
- Knorr, M., Seifert, J.: *National 5G Energy Hub - Introduction of Future-Oriented Communication Structures in Energy Technology*, 2019 NetSys2019, International Conference on Networked Systems 2019
- Bonetto, R.; Sychev, I.; Zhdanenko, O.; Abdelkader, A.; Fitzek, F. H. P.: *Smart Grids for Smarter Cities*, 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)
- Krahmer, S.; Knorr, M.; Wiemann, S.; Gasch, E.; Sychev, I.; Kozak, W.; Seifert, J.; Schegner, P.: *National 5G Energy Hub – Launching a Future-Oriented Communication Architecture for Electrical and Thermal Energy Systems*, Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems (NEIS 2020)
- Seifert, J.; Knorr, M.; Wiemann, S.: *National 5G Energy Hub – Einführung moderner Kommunikationsstrukturen in der Energietechnik*, Seifert, J.; Knorr, M.; Wiemann, S.: *National 5G Energy Hub – Einführung moderner Kommunikationsstrukturen in der Energietechnik*, 2021

Fachbeiträge:

- Haghgoo, M.; Sychev, I.; Monti, A.; Fitzek, F.: *SARGON – Smart energy domain ontology*, IET Journals, 2020

- Baranski, M; Storek, T.; Kümpel, A; Blechmann, S.; Streblow, R.; Müller, D; Groß, S; Guarnieri, C.; Haghighi, M.; Sowa, I.; Monti, A.; Knorr, M. Wiemann, S; Haupt, L, .; Seifert, J; Sychev, I.; Fitzek, F; Krahmer, S.; Gasch, E.; Schegner, P; Farac, R; Williams, F.: *National 5G Energy Hub - Application of the Open-Source CloudPlatform FIWARE for Future Energy Management Systems*, Whitepaper, RWTH Aachen - EBC Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, 2020
- Krahmer, S; Knorr, M.; Wiemann, S.; Gasch, E.; Sychev, I.; Kozak, W.; Seifert, J.; Schegner, P.: *National 5G Energy Hub – Launching a Future-Oriented Communication Architecture for Electrical and Thermal Energy Systems*, Proceedings NEIS 2020, Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems, VDE Verlag 2020

Posterbeiträge:

- Knorr, M.; Wiemann, S.; Krahmer, S.; Seifert, J.: *National 5G Energy Hub - Einführung zukunftssträchtiger Kommunikationsstrukturen in der Energietechnik*, Energiewende Bauen, Fachkonferenz Digitalisieren - Sektoren koppeln - Flexibilisieren: Systemische Integration der Bioenergie und weiterer Erneuerbarer Energien in Gebäuden und Quartieren, November 2020

3 Erfolgskontrollbericht

3.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Aus dem 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung können drei wichtige Ziele benannt werden:

1. Erfüllung der energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben,
2. Stärkung der führenden Position der Unternehmen im Bereich moderner Energietechnologien und
3. Sicherung technischer Optionen bzw. deren Weiterentwicklung.

Zu all den genannten Punkten hat das Forschungsvorhaben Beiträge geliefert.

Zum ersten Punkt ist besonders hervorzuheben, dass mit zunehmender Komplexität von Energiesystemen sowie aufgrund des Transformationsprozesses von einer zentral geprägten Energieversorgung hin zu dezentralen Strukturen der Aufwand und die Bedeutung der Systemregelung steigt. Die Regelung ist hier als wesentlicher Schlüssel für einen energieeffizienter Betrieb zu sehen und muss flexibel auf sich ändernde Strukturen reagieren können. Durch die Umsetzung der Open Source Softwareplattform wurde eine flexible und skalierbare Kommunikationsarchitektur unter Nutzung moderner Cloud-Technologien entworfen, die die Erstellung von Regelsystemen stark vereinfacht. Proprietäre Lösungen können somit ersetzt bzw. in die Architektur integriert werden.

Hinsichtlich Punkt zwei der förderpolitischen Ziele kann festgestellt werden, dass mit der Plattform Unternehmen die Möglichkeit gegeben wird, den hohen Entwicklungsstand bei Einzelkomponenten auch auf Systemebene zu übertragen. Insbesondere die Abhängigkeit von internationalen Unternehmen, welche im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien über eine starke Marktstellung verfügen, kann somit gemindert werden. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen können somit maßgeblich bei der Entwicklung von Service- bzw. Regelungsapplikationen unterstützt werden.

Dem dritten Punkt können die grundsätzlichen Möglichkeiten zugeordnet werden, die sich aus der Digitalisierung bzw. der Nutzung moderner Kommunikationstechnologien ergeben. Dies betrifft zum Einen die Optimierung von Prozessen und Regelsystemen, mit der Möglichkeit der unkomplizierten Einbindung verteilter Datenpunkte. Zum Anderen können auch neue Geschäftszweige erschlossen werden, die über die eigentlich Grundregelaufgabe hinaus gehen. Beispielhaft ist hier die Verbesserung der Nutzerinformation und Nutzerinteraktion zu nennen, die letztlich zur Akzeptanzerhöhung von energietechnischen Anlagen beitragen.

3.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens

Im Rahmen des Projektes wurde ein Toolboxsystem in Form einer Cloud-Plattform entwickelt, welches die Kommunikation von energetischen Anwendungen hin zu einem übergeordneten Back-End mittels moderner Kommunikationsstandards ermöglicht. Mit dieser zentralen Einheit, die unabhängig von Feldbusprotokollen und firmenspezifischen Lösungen ist, wird ein allgemeiner Kommunikationszugang für alle energetischen Anwendungen ermöglicht. Zudem wurden eine Reihe von Empfehlungen für die Feinabstimmung von 5G-Systemen entwickelt, die es den Betreibern der N5GEH-Energienutzungsfälle ermöglichen, die Leistung von 5G zur Unterstützung der zukünftigen fortgeschrittenen Versionen der N5GEH-Dienste, die eine echtzeitnahe Kommunikation erfordern, zu maximieren. Die Arbeiten untergliederten sich dabei in folgende Bereiche:

1. Die Entwicklung einer Kommunikation – Open-Source-Plattform für Energiesysteme,
2. Entwicklung einer zentralen Cloud-Speicherlösung und Rechenlösung für energietechnische Anwendungen,
3. Entwicklung von einfachen Gateway-Systemen für dezentrale Energieerzeugungssysteme,
4. Entwicklung von einfachen, robusten Sensortechnologien auf Basis von 5G,
5. Sicherheitstechnische Plattformanforderungen

Die Cloud-Plattform für zukünftige Energiemanagementsysteme wurde auf der Grundlage des Open-Source-FIWARE-Frameworks aufgesetzt. Die Einbettung der erforderlichen FIWARE-Module in eine Container-Virtualisierung führt zu einem einfachen und skalierbaren Plattformaufbau. Um den Umgang mit den Plattform-APIs zu erleichtern, wurde eine FIWARE-Bibliothek für Python (FiLiP) entwickelt. Die Erweiterung des Open-Source-Gateway-Frameworks OpenMUC um MQTT- und BACnet-Funktionalität stellt die Integration bestehender Gebäudeautomationsysteme in die Plattform sicher.

Beim Einsatz des Plattformaufbaus zusammen mit dem Gateway für eine Gebäudeüberwachung konnte eine automatisierte Registrierung und Protokollierung von mehr als 13.700 Datenquellen demonstriert werden.

3.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

Die weitere Verwertung der Projektergebnisse durch die Projektpartner an der TU Dresden erfolgt gemäß den in Abschnitt 2.4 dargestellten Angaben.

3.4 Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

Im Laufe des Projektes wurde der Ansatz der Entwicklung von eigenen Verschlüsselungstechnologien verworfen. Hier wurden vorhandene Lösungen als ausreichend erachtet und stattdessen für die Ausrichtung des Projektes und den Aufbau der Cloud Plattform die folgenden Schwerpunkte hinsichtlich der Sicherheit identifiziert und bearbeitet:

- Absicherung der Cloud / Clouddienste
- Absicherung des Gateways (softwaretechnisch und physisch)
- Netzwerksicherheit
- Datenschutz
- Bedrohungsanalyse und Angreiferdetektion

3.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse des Projektes sind auf der Homepage und in einem Projekt Wiki dokumentiert. Die entwickelten Softwarebibliotheken und Anwendungen wurden alle unter <https://github.com/N5GEH> Open Source gestellt. Neben der Verwaltung der Quelltexte sind hier zusätzlich Tutorials verfügbar. Die im Projekt entstandenen Services werden zusätzlich als Container-Anwendung auf Docker Hub bereitgestellt <https://hub.docker.com/u/n5geh>.

Für die Verbreitung der Ergebnisse im potentiellen Anwenderkreis aus der Wirtschaft wurde während des Projektes ein Führungskräfteseminar durchgeführt und das Projekt auf unterschiedlichen

Konferenzen und Symposien vorgestellt. Die Präsentation wurden durch mehrere Fachveröffentlichungen ergänzt. Zum Projektabschluss wurden die Ergebnisse vor dem BMWi und unterschiedlichen Verbandsvertretern präsentiert.

Zur Veranschaulichung der Struktur und der Funktionalitäten der Softwareplattform auf Konferenzen und Messen wurden in Aachen und Dresden jeweils ein Demonstrator entwickelt. Die Demonstratoren orientieren sich an den gewählten Use Cases und ermöglichen die Interaktion von Anwender und Technik.

3.6 Einhaltung Ausgaben- und Zeitplanung

Die Projektlaufzeit betrug 2 Jahre und wurde aufgrund der Einschränkungen, die durch den Coronavirus-Pandemie entstanden, um 3 Monate kostenneutral verlängert. Im Anschluss daran erfolgte eine weitere Verlängerung um 5 Monate, um einen Workshop zur Überführung des Projektes in die Phase II vorzubereiten sowie den Demonstrator weiterzuentwickeln.

Projektbeginn: 01.05.2018

Projektende geplant: 30.04.2020

Projektende mit kostenneutraler Verlängerung: 31.07.2020

Projektende mit erweiterter Verlängerung: 31.12.2020

Während der regulären Projektlaufzeit inklusive der kostenneutralen Verlängerung waren keine zusätzlichen Zuwendungen durch das BMWi erforderlich. Für die letzte Verlängerung vom 31.07.2020 - 31.12.2020 wurde eine zusätzlich Zuwendung von 50.000 EUR gewährt.

Innerhalb des Forschungsvorhaben wurden regelmäßige Projekttreffen bzw. Workshops entsprechend der unten stehenden Aufführung mit den Partnern im Forschungsverbund durchgeführt, um sich hinsichtlich der Use Cases sowie der Entwicklung der Softwarebausteine abzustimmen.

Tabelle der Projekttreffen der Kooperationspartner

Beschreibung	Datum	Bemerkung	stattgefunden
1. Projekttreffen	30.05.2018	Aachen	ja
2. Projekttreffen (Kooperationsvertragsunterzeichnung)	19.07.2018	Dresden	ja
3. Projekttreffen	10.10.2018	Aachen	ja
4. Projekttreffen	18.12.2018	Dresden	ja
5. Projekttreffen (Workshop)	29.01. - 31.01.2019	Dresden	ja
6. Projekttreffen	25.04.2019	Aachen	ja
7. Projekttreffen	17.06.2019	Eschborn (Techem)	ja
8. Projekttreffen/ Workshop	06./07.11.2019	Dresden	ja
9. Projekttreffen/ Workshop	26./27.02.2020	Dresden	ja
10. Projekttreffen	22.04.2020	Aachen	Webkonferenz
Workshop mit PtJ/BMWi	06.10.2020	Dresden/ Aachen	Webkonferenz