Smart Sensoring Platforms for Smart Energy Grids (SUSEE)

Teilvorhaben: Sichere & Skalierbare LoRaWAN Sensorik für Energienetze

Schlussbericht der TIP GmbH

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

FKZ: 03EI6047G

Projektlaufzeit:	**01.05.2021 – 30.04.2024**
Laufzeit:	**36 Monate**

Teilprojektleiter / Autor:

Christian Mettlich
TIP Thüringer Industrieprodukte GmbH
Bahnhofstr. 26
99842 Ruhla
+49 (0)5401 3619817
mettlich@stromzaehler.de

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzdarstellung 3
1.1. Aufgabenstellung 3
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 3
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens 4
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde 5
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 7
2. Eingehende Darstellung 7
2.1. Die Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 7
2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 8
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 8
2.4. Voraussichtlicher Nutzen bzgl. der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 8
2.5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen 9
2.6. Geplante Veröffentlichung von Ergebnissen 9

1. Kurzdarstellung

1.1. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des Teilvorhabens „Sichere & Skalierbare LoRaWAN Sensorik für Energienetze“ des SUSEE Projektes sind:

- Konzeptionierung eines IOTA-fähigen Nachrüst-Adapters für Smart Meter, der über eine LoRaWAN-Schnittstelle verfügt und neben der Verarbeitung und Terminierung des IOTA Protokolls auch das neue Transportschicht-Protokoll unterstützt.

- Entwicklung einer Beispiel-Anwendung für die vorgeschlagene Kommunikationslösung und Leistungsbewertung der Hardware.

Die TIP GmbH übernimmt innerhalb des Projekts eine wesentliche Rolle, um die innerhalb des Projektes gewonnenen Erkenntnisse und Entwicklungen in ein vorserienreifes Produkt zu überführen. Darüber hinaus unterstützt sie das Vorhaben bei dem Design und der Auswahl der Komponenten für den Industriellen sowie B2C Bereich. Innerhalb des Projektes wird eine enge Zusammenarbeit mit den Partnern peerOS, mCloud Systems, TUC, IOTA und mit SWO Netz angestrebt. Als Hersteller von zertifizierten und zugelassenen elektronischen Energiezählern für industrielle Anwendungen bringt die TIP GmbH weiterhin ihre Kompetenz v.a. im Bereich der Spezifikation der sensorseitigen Systemarchitektur, des Schaltkreis- und Systementwurfs und die Fertigung sowohl von Prototypen als auch von Vorserien-Modellen für den innerhalb des Projekts geplanten Feldversuchs ein. Für die technische Realisierung der Teilprojektziele ist v.a. die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern peerOS, mCloud Systems, TIP und der SWO geplant.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Der Fokus des Teilvorhabens „Sichere & Skalierbare LoRaWAN Sensorik für Energienetze“ lag auf dem Schaltkreis- und Systementwurf sowie dem Hardwaredesign eines Nachrüstmoduls für Smart Metering Anwendungen über eine LPWAN-Drahtlosschnittstelle.
Durch die hohe Komplexität und dem jungen Reifegrad der verwendeten, konsens-basierten Anwendungsschichtprotokollen (Streams über IOTA) mussten kontinuierlich enge Absprachen über Mikroprozessorperformance und -auswahl, Verfügbarkeit von Firmware, Software und verfügbarer Entwicklungstools, Communitysupport sowie die Verwendbarkeit notwendiger Programmiersprachen für die Erreichung des Gesamtprojektziels im Projektkonsortium vor Beginn der Design- und Entwicklungsarbeiten geführt werden.

Die im Teilvorhaben adressierte Beschreibung der notwendigen Entwicklungsarbeiten und angestrebten Hardware zur Erreichung des Projektgesamtziels basiert primär auf den jahrelangen Erfahrungen in der Entwicklung, Fertigung und Vertrieb von Stromzählern für Kunden aus den unterschiedlichsten Branchen (Industrie, Handel, Gewerbe, …), sowie den Erkenntnissen der beteiligten Projektpartnern während der Projektlaufzeit. Bereits bei der Auswahl dedizierter Hardwarekomponenten wurde stets auf Zuverlässigkeit, Haltbarkeit und Wirtschaftlichkeit geachtet. Ein weiterer Aspekt ist die Ausmaße der Platine, um einen reibungslosen Einsatz als Nachrüstmodul in vorhandenen Stromzählern zu gewährleisten.

Für die vorgesehenen Entwicklungsarbeiten, hinsichtlich der drahtlosen Kommunikation über das Protokoll LoRaWAN, konnte weiterhin auf dem Wissen und der praktischen Erfahrung durch eines im Produktportfolio der Firma TIP GmbH enthaltenen LoRaWAN Moduls gesetzt werden, welches bereits in einem Stromzähler verwendet wird.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde wie in der Teilvorhabenbeschreibung und unter den in Punkt 1.2 dieses Berichtes geschilderten Voraussetzungen geplant. Eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs des Vorhabens kann den Zwischenberichten entnommen werden.

Leider begann während der Projektarbeiten die Corona-Epidemie, die drastische Verschlechterungen auf Bauteilverfügbarkeiten und Lieferzeiten auf dem Weltmarkt hatte und damit negativen Einfluss auf den tatsächlichen Projektablauf:

Zu den engen Vorgaben des Projektkonsortiums bezüglich der technischen Machbarkeit des Projektgesamtziels mussten zusätzliche, teilweise aufwendige Recherchearbeiten für Ersatzbauteile bzw. Ersatz-Designs für das Teilprojekt gefunden werden. Es kam dadurch zu mehrfachen, zusätzlichen Änderungen im Schaltkreis- und Systementwurf sowie im hardwaretechnischen Konzept mit entsprechenden zeitlichen Verzögerungen im Projektablauf. Dies hatte den Verzug darauf aufbauender Projektarbeiten (Firmware- und Softwareentwicklung sensorseitig) zur Folge, der jedoch aufgrund der kostenneutralen Verlängerung des Projekts ohne substanzielle Verschiebungen realisiert werden konnte. Durch die teilweise drastisch gestiegenen Preise für Bauteile und Fertigung musste außerdem die ursprünglich geplante Menge an Funktionsmustern, Prototypen und den Testgeräten für den Feldtest reduziert werden, um die für das Projekt vorgesehenen Kosten nicht zu übersteigen.

Die zeitlichen Verzögerungen die durch den tatsächlichen Ablauf des Teilprojekts entstanden sind, konnten im Gesamtprojekt SUSEE durch die kostenneutrale Verlängerung innerhalb der verlängerten Projektbearbeitungszeit ausgeglichen werden.

Durch die gute und enge Zusammenarbeit der Projektpartner konnten alle Teilprojektziele erreicht werden. Durch die hohen Kompetenzanforderungen der neuen Protokoll-Technologien im Projekt ist die Zuarbeit hinsichtlich der Entwicklung der Beispielapplikation jedoch minimal ausgefallen.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Die globale Vernetzung, das Internet, in einen Bereich zu erweitern, der über die Menschheit hinaus zuverlässig Informationen liefert oder allgemeiner sichere Dienste für uns bereitstellt (Internet-der-Dinge, IoT), war durch technische Randbedingungen über viele Jahrzehnte bisher nur schwer und kostenintensiv realisierbar. Nur Langlebigkeit, Sicherheit, langlebiges Vertrauen in die Technik und teilweise sogar de-facto Energieautarkie ermöglichen eine kostenschonende Umsetzung vieler Anwendungsszenarien. In den letzten Jahren entstanden in diesem wissenschaftlichen Bereich sowohl von Seiten der Informations- und Elektrotechnik und Informatik Protokolle, Standards, Mikroelektronik, Schnittstellen und Software, die zusammengenommen erfolgreiche Schritte in diesem Bereich versprechen:

In der Kommunikationstechnik wird in dem noch jungen Forschungsbereich Low-Power-Wide-Area (LPWAN) an Protokollen geforscht, die Skalierbarkeit, große Kanalrobustheit/Ausfall-sicherheit und eine sehr geringe Übertragungsenergie kombinieren. Mit LoRaWAN, einem seit wenigen Jahren entwickelten Industriestandard für das offene Lizenzband auf Basis des proprietären LoRa Protokolls, steht durch kommerziell verfügbare Mikroprozessoren und offene Softwarebibliotheken alles notwendige für einen einfachen Roll-Out von derartigen IoT-Kommunikationsnetzen zur Verfügung. Zum Startzeitpunkt des Projektes befasste sich die wissenschaftliche Literatur technologisch v.a. mit Protokoll-Spezifikationen, ersten Netzaufbau und Performanz-Evaluationen im Hinblick auf Netzskalierbarkeit und Daten-verfügbarkeit. Da LoRaWAN in Bezug auf Kanalzugriff und Datensicherheit nur rudimentäre Ansätze liefert und sich Protokolle aus dem LPWAN Bereich technologiebedingt nur durch eine geringe Datenübertragungsrate auszeichnen, wurde der Einsatz darauf aufbauender zusätzlicher Verschlüsselungsverfahren (z.B. TLS über LoRaWAN) diskutiert. Die langfristige Datenintegrität und Identitäten von IoT-Diensten über energiesparsame Embedded Elektronik neben der Sicherheit der Datenkommunikation und Verschlüsselung zu gewährleisten, wurde nicht untersucht, da sich der Forschungsschwerpunkt im Bereich konsens-basierter Protokolle und Blockchain (sogenannte Distributed Ledger Protokolle) logisch im OSI-Schichtenmodell in den höheren Anwendungsschichten befindet und damit eine technische Lücke in der Protokollhierarchie für den Einsatz über LPWAN-Protokolle besteht. Für die Verwendung von Distributed Ledger Protokollen im LPWAN Bereich müssen sich diese Protokolle durch ein bidirektional sehr geringes Datenvolumen und durch ein low-power, embedded kompatibles Protokoll-Design auszeichnen.

Durch ihre mathematisch-technische Grundstruktur eignen sich vor allem DAG-Protokolle (Distributed Acyclic Graph) prinzipiell für den Einsatz in massive machine-type (mMTC) Kommunikationsanwendungen und IoT-Applikationen. Ein Protokoll, das diesen technologischen Ansatz verfolgt und einen für eine praktische Anwendung notwendigen Protokollimplementierungstand auf hardwarenahen Programmiersprachen aufweist, heißt IOTA. Die Veröffentlichungen in diesem Bereich umfassten v.a. Protokollspezifikationen von Implementierungen, technische und mathematische Machbarkeitsstudien im Bereich DAG-basierter Ledger und Diskussion über die Tauglichkeit von Verfahren und Algorithmen für eine technische Protokollumsetzung.

Für den im Projektantrag diskutierten Anwendungsfall im Bereich Smart-Grid und intelligente Stromnetze ist v.a. das sichere und zuverlässige „Streaming“ von Daten einzelner Messstellen zur Datensenke der wesentliche Datenfluss und kritisch. Engpässe in der Datenkommunikation für Firmware-, Protokollupdates und Control Plane Kommunikation in Downlink-Richtung können durch die Wahl geeigneter Protokolle, Spezifikationen und Verfahren vermieden werden. Um einen derartigen Dienst über ein Distributed Ledger basiertes Protokoll abbilden zu können, muss ein geeignetes „Streaming“ Protokoll mit möglichst granularer Zugriffs- und Berechtigungshierarchie und hoher Skalierbarkeit in Spezifikation und Implementierung auf der eigentlichen Applikationsschicht der Protokoll-Hierarchie existieren: Zum Zeitpunkt der Antragstellung war mit MAM („Masked Authenticated Messaging“) bereits eine 2nd Layer Protokollimplementierung über IOTA verfügbar. Für die Literaturrecherche standen zum Zeitpunkt der Antragstellung nur Blockpost Artikel und Github-Repository README.md der Implementierung zu Verfügung. Während der Projektzeit wurde auf die aktuelle IOTA-Protokollimplementierung und das MAM Nachfolgeprotokoll Streams aufgebaut. Wesentliche Literaturquelle ist die Protokoll-Spezifikation von Streams.
Für eine sichere Übertragung von Paket-Sequenzen über LPWAN Protokolle steht bis dato kein praxistaugliches, standardisiertes Protokoll zur Verfügung: Selbst das zum Zeitpunkt der Antragstellung breitbandigste LPWAN-Protokoll NB-IoT, welches für die Verwendung in lizenzierten Frequenzbändern konzipiert ist (d.h. zentral-gesteuerte dedizierte Kanäle und damit mehr Bandbreite), wurde für die Verwendung des leichtgewichtigeren, minimalen, verbindungslosen Netzwerkprotokolls UDP entwickelt. Es sind bis dato keine Bestrebungen außerhalb der Projektarbeit bekannt, um ein Protokoll zu standardisieren, welches technische Realisierung für LPWAN-spezifischen Datenverkehr, IoT-Applikationsspezifika und verfügbarer Protokolle in diesem Bereich verbindet.

Durch die Verwendung von LoRaWAN innerhalb des Projektes besteht weiterhin eine Einschränkung für das Senden regelmäßiger Paketsequenzen durch die protokollspezifische Verwendung des einfachsten Kanalzugriffverfahrens ALOHA, welches Szenarien-bedingt eine hohe Paketfehlerrate beim Senden aufweist und die Praxistauglichkeit komplexerer Anwendungsschichtprotokolle durch Einschränkung in der Bandbreite verhindern kann. Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden in der wissenschaftlichen Literatur verschiedene, komplexere, meist zentralgesteuerte Kanalzugriffsverfahren als Ersatz für das ALOHA-Verfahren und höheren Datendurchsatz diskutiert. Erst während der Projektbearbeitungszeit hat sich der Fokus der wissenschaftlichen Literatur auf dezentrale Kanalzugriffsverfahren für LPWAN-Protokolle ergeben. Im Rahmen der aktuellen 5G/6G Thematik wird dieses technische Problem („massive Grant-free Channel Access“) für das lizenzierte Frequenzband zum Forschungsthema erklärt.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung und bis dato sind keine Konstruktionen außerhalb der Projektarbeit bekannt, die die technische Umsetzung dieser Protokollhierarchie über LPWAN-angebundene Endgeräte bis in die im Feld befindliche Embedded Mikroelektronik (d.h. Ende-zu-Ende) durchentwickelt. Es sind bis dato keine Schutzrechte oder Verfahren bekannt, die diesen technischen Entwicklungen entgegenstehen. Die Projektliteraturrecherche erfolgte über die bekannten, internationalen Veröffentlichungsplattformen und Institutionen, wie z.B. IEEE sowie Online-Recherche über alle verfügbaren und bekannten Plattformen.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit fand ein fortlaufender, regelmäßiger Austausch in Form von arbeitspaktbezogenen Workshops mit den am Projekt beteiligten Partnern statt, vor allem mit SWO, peerOS, TU Chemnitz und mCloud Systems. Weiterhin wurden rechtliche Belange zur Integration eines Nachrüstmoduls für Smart Meter abgeklärt und entsprechende Zertifizierungsunternehmen für eine weitere wirtschaftliche Verwertung einbezogen.

Durch unseren Kundenkreis im Bereich Grundversorger, Messstellenbetreiber, Netzbetreiber sowie Schaltanlagenbauer, Wohnbaugesellschaften und dem deutschen Elektrogroßhandel konnten aktuelle Erkenntnisse und Entwicklungen in diesem Marktbereich in die laufende Projektarbeit einfließen.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Die Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Wie aus dem Verwendungsnachweis ersichtlich, wurde die Zuwendung für folgende Positionen verwendet:

- Personalkosten (Pos. 0837)
- Materialkosten (Pos. 0813)

Die Reisekosten (Pos. 0838) wurden nicht in Anspruch genommen, da einerseits aufgrund der Corona Pandemie die regelmäßigen Workshops primär online stattfanden und dadurch keine Reisekosten entstanden, andererseits die tatsächlich durchgeführten Reisen auf Kosten der Firma TIP GmbH erfolgten.

Zuwendungen für vorhabenspezifische Abschreibungen auf Anlagen (Pos. 0847) wurden ebenfalls nicht in Anspruch genommen, da dies für die Projektrealisierung nicht erforderlich war. Eine Förderung für sonstige unmittelbare Vorhabenkosten (Pos. 0850) ist ebenfalls nicht in Anspruch genommen worden, da keine derartigen Kosten entstanden sind, bzw. durch die Firma TIP GmbH finanziert wurden.

Die Personalkosten waren für den Schaltkreis- und Systementwurf, die Koordination der Bauteilbeschaffung, die Fertigung von Vorseriengeräten und die Begleitung des Feldtests erforderlich. Die Materialkosten setzen sich aus den Kosten für Bauteile bzw. der Fertigung von Geräten zusammen. Alle abgerechneten Positionen innerhalb der Zuwendung stimmen mit den Zielen und Arbeitspaketen überein.

2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises setzen sich wie folgt zusammen:

- Personalkosten (Pos. 0837): 201.894,00 €
- Materialkosten (Pos. 0813): 24.900 €

Weitere Details zum zahlenmäßigen Nachweis können den Abrechnungen bzw. dem Verwendungsnachweis entnommen werden.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Aufgrund der weltweiten Verknappung von elektronischen Bauteilen mussten mehrere Anläufe gestartet werden, um einen Prototypen sowie Vorseriengeräte zu entwickeln und zu produzieren.

Weiterhin mussten Einschränkungen in der Größe der Hardware sowie den softwareseitigen Anforderungen beim Schaltkreis- und Systementwurf während der Projektlaufzeit fortlaufend berücksichtigt werden.

Neben den technischen Herausforderungen und wirtschaftlichen, technologie-bezogenen Risiken, die in der Teilvorhabenbeschreibung adressiert werden, zusätzlich zu dem realen Aufwand des Teilprojektes durch unkalkulierbare Vorfälle wie die Corona-Pandemie und deren Auswirkungen, wie unter Punkt XXXX beschrieben, konnte die Firma TIP den finanziellen Aufwand nicht alleine bewältigen, sodass eine Zuwendung in Form dieser Förderung notwendig war.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen bzgl. der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Aufgrund der Corona Pandemie und der einhergehenden Verschlechterung der wirtschaftlichen Lage auf dem Weltmarkt, musste das Unternehmens TIP GmbH seinen regulären Geschäftsbetrieb leider einstellen/liquidieren. Aus diesem Grund können die durch das Projekt gewonnenen Ergebnisse leider nicht ökonomisch weiterverwendet werden oder in neue Produkte und Dienstleistungen einfließen. Dieser Umstand war weder bei der Projektbeantragung noch während der regulären Projektlaufzeit absehbar.

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen

Laut unserem Kenntnisstand sind von dritter Seite keine Ergebnisse bekannt geworden, die im Rahmen des Vorhabens relevant sind.

2.6. Geplante Veröffentlichung von Ergebnissen

Die wesentlichen technologiebezogenen Veröffentlichungen auf der Anwendungsschicht wurde durch den Projektpartner IOTA vorgenommen. Applikationsbezogene Veröffentlichung wurden von Seiten der Projektpartner peerOS und mCloud vorgenommen. Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Projektarbeit wurden alle von Seiten der Technischen Universität Chemnitz publiziert.

Aufgrund der Liquidation des Unternehmens sollen in Absprache mit den Projektbeteiligten die Veröffentlichung von Ergebnissen unter deren Namen erfolgen. Die entsprechenden Ergebnisse und Resultate werden den Partnern im Projekt selbstverständlich vollumfänglich und kostenlos zur Verfügung gestellt.