Anlage 1
(zu Nr. 8.2 NKBF 98)

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zu Nr. 8.2

Verbundvorhaben:

SUSEE – Sichere Sensorplattformen für smarte Energienetze

FKZ: 03EI6047F

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 – 30.09.2024

Teilvorhaben:

Praxistauglichkeit des Gesamtsystems am Beispiel der Zählerfernauslesung im Netzgebiet der SWO Netz GmbH

SWO Netz GmbH

Jan-Adrian Schönrock

Alte Poststraße 9

49074 Osnabrück

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

I.Inhaltsverzeichnis

I) Kurzdarstellung 3

1. Aufgabenstellung 3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 3
3. Planung und Ablauf des Vorhabens 3
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Vorhabenbeginn 6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 6

II) Eingehende Darstellung 7

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 7
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 11
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 11
4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 12
5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 14
6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 15

II. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Die SWO Netz GmbH war im Forschungsprojekt SUSEE – Sichere Sensorplattformen für Smarte Energienetze maßgeblich an der Evaluierung der Praxistauglichkeit der entwickelten Sensortechnologie beteiligt. Ziel war es, die LoRaWAN-basierte Sensorlösung zur Zählerfernauslesung unter realen Bedingungen zu testen und hinsichtlich ihrer technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Machbarkeit zu bewerten. Dabei standen insbesondere die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur, die Durchführung und Überwachung von Feldtests sowie die Untersuchung der Skalierbarkeit und Integration in bestehende Messsysteme im Fokus. Darüber hinaus unterstützte SWO Netz die Entwicklung des IoT-Sensornodes, dem Nachrüstmodul für moderne Messeinrichtungen (mME), um eine Nachrüstung bestehender Infrastrukturen mit der neuen Technologie zu ermöglichen.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde im regulierten Energiemarkt durchgeführt, wobei insbesondere die gesetzlichen Vorgaben für den Messstellenbetrieb (MsbG, MessEV, MessEG, BSI) zu berücksichtigen sind. Dabei ist vorgesehen, dass rechnungsrelevante Messwerte von modernen Messeinheiten über das Smart-Meter-Gateway an den Netzbetreiber übermittelt werden. Ziel bei der Entwicklung des IoT-Sensornodes war es, eine sichere und effiziente Lösung zu entwickeln, die es dem Netzbetreiber ermöglicht, Stromnetze wirtschaftlich, effizient und flächendeckend zu Digitalisieren. Das Smart-Meter-Gateway erfüllt die regulatorischen Vorgaben und ist nur nach einer eichrechtlichen Zertifizierung der Zusatzprodukte nutzbar. Zudem sind die Schnittstellen nicht frei zugänglich. Dies hatte zur Folge, dass die Verwertungsmöglichkeiten für den entwickelten IoT-Sensornodes reduziert werden mussten. Die Verwendung der Sensornode ist bei den Messtellen möglich, die nicht vom SMGW-Rollout betroffen sind und keine verpflichtende Datenübermittlung über das SMGW erfordern. Zudem wurde die Projektdurchführung durch externe Faktoren beeinflusst, darunter erhebliche Lieferengpässe bei Hardwarekomponenten, die sich auf die termingerechte Bereitstellung der Sensoren auswirkten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten der SWO Netz GmbH gliederten sich in mehrere Arbeitspakete, die aufeinander aufbauten und eine schrittweise Umsetzung der Projektziele ermöglichten.

Im Rahmen des **Arbeitspakets 0 (Projektmanagement)** übernahm SWO Netz die Koordination innerhalb des Konsortiums und stellte sicher, dass die verschiedenen technischen und administrativen Anforderungen effizient umgesetzt wurden. Dies beinhaltete die Organisation regelmäßiger technischer Workshops und Meilensteinmeetings, die

Abstimmung mit den Projektpartnern sowie die Bereitstellung der unternehmenseigenen LoRaWAN-Infrastruktur als Testumgebung für die Validierung der Sensortechnologie.

Im **Arbeitspaket 1 (Anforderungen und Systemarchitektur)** war SWO Netz aktiv an der Definition der technischen Anforderungen für die Sensormodule beteiligt. Hierbei wurden insbesondere aus Netzbetreibersicht zentrale Kriterien wie Datensicherheit, Zuverlässigkeit der Datenübertragung und Interoperabilität mit bestehenden Messsystemen spezifiziert. Parallel dazu erfolgte eine Analyse der regulatorischen Rahmenbedingungen, insbesondere im Hinblick auf die Anforderungen des Messstellenbetriebsgesetzes und den Smart-Meter Rollout. Diese Erkenntnisse flossen direkt in die Entwicklung der Systemarchitektur ein und stellten sicher, dass die Lösung nicht nur technisch leistungsfähig, sondern auch mit bestehenden Regularien kompatibel ist oder anpassbar gemacht werden kann.

Im **Arbeitspaket 5 (Frontend: IoT Sensor Node/Nachrüstmodul)** beteiligte sich SWO Netz an der Entwicklung und Validierung eines LoRaWAN-basierten Nachrüstmoduls für moderne Messeinrichtungen (mME). Hierzu wurden seitens der SWO Netz verschiedene Testzähler bereitgestellt, die als Grundlage für die Entwicklung und Optimierung der Sensorhardware dienten. Die Herausforderung bestand darin, eine Nachrüstlösung zu entwickeln, die mit unterschiedlichen Zählertypen kompatibel ist und ohne tiefgehende Eingriffe in bestehende Infrastrukturen installiert werden kann. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden verschiedene Hardwarekonzepte getestet, bis eine praxistaugliche Lösung entwickelt werden konnte. Die SWO Netz hat die Entwicklung insbesondere darin unterstützt, zusammen mit der smartOPTIMO den Entwicklungspartnern Zugang zu praxisüblichen Messtellen bereitzustellen und Einblicke in bestehende Installationsprozesse zu gewährleisten.

Im **Arbeitspaket 6 (Demonstration einer Beispielanwendung, Funktionsnachweis und Leistungsbewertung des Gesamtsystems)** übernahm SWO Netz eine zentrale Rolle bei der Validierung der entwickelten Lösung unter realen Bedingungen. Zunächst wurde ein kleiner Feldtest durchgeführt, um erste Erkenntnisse zur Datenqualität, Netzabdeckung und verschiedene Antennen- und Gateway Technik zu gewinnen. Dabei wurde getestet, inwiefern die drahtlose Übertragung über LoRaWAN stabil und zuverlässig in einer realen Netzumgebung funktioniert. Über die eigene LoRaWAN-Infrastruktur konnten detaillierte Mess- und Statuswerte der im Feldtest verbauten Geräte analysiert werden.

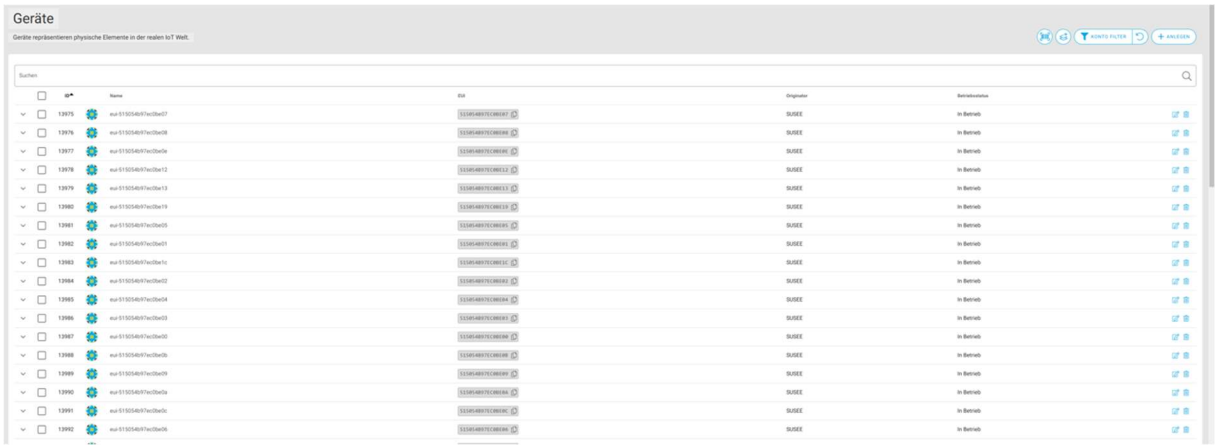

Abbildung 1: Geräteliste in niotix

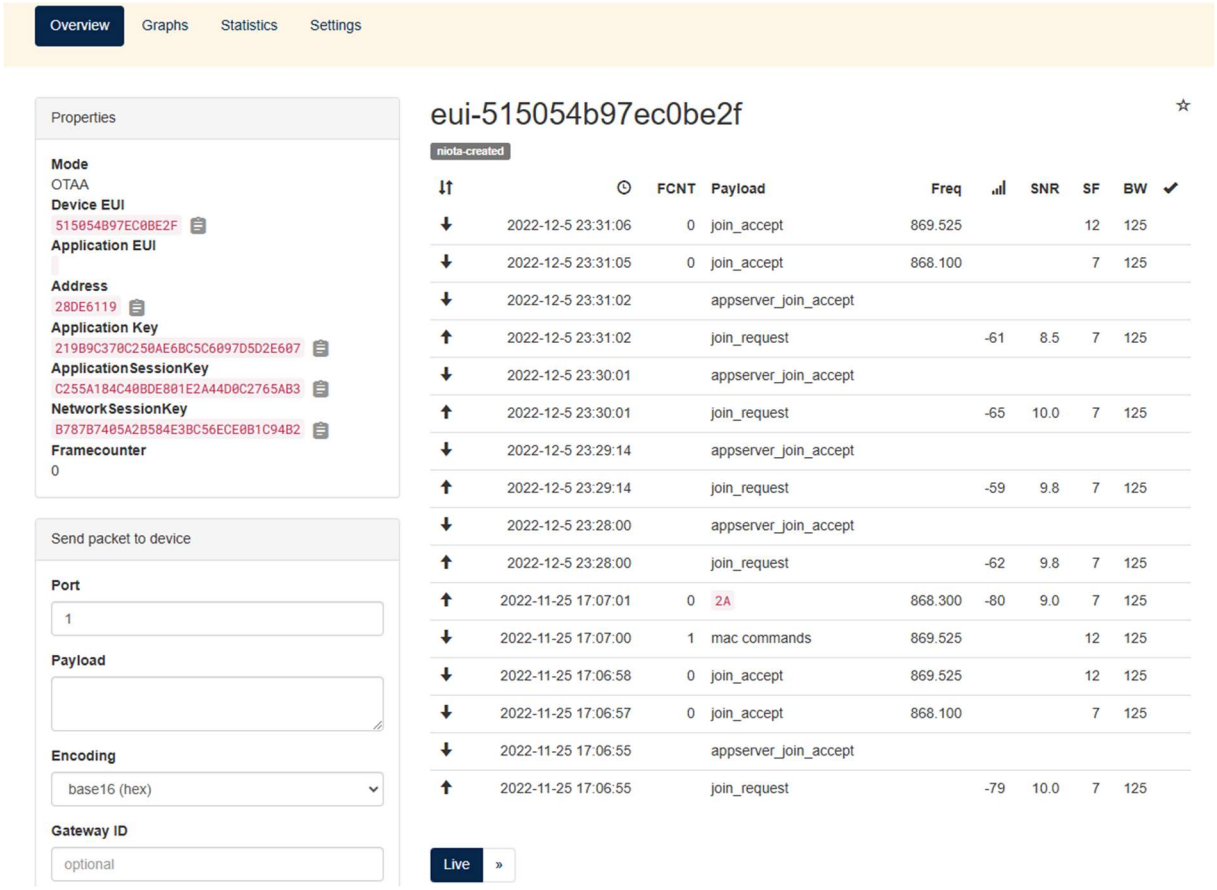

Abbildung 2: Traffic auf LoRaWAN Netzwerkserver firefly eines Testgeräts

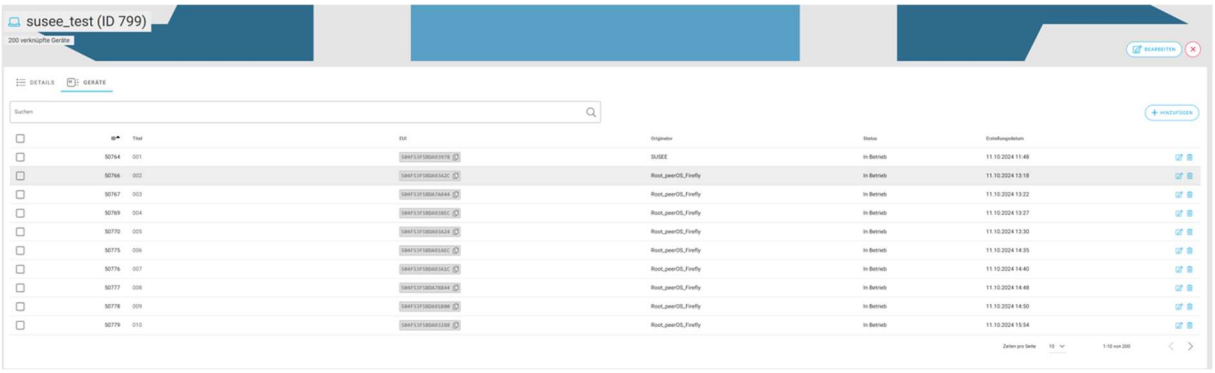

Abbildung 3: Anwendung als Gerätesammlung in niotix

Nach Abschluss dieser ersten Testphase wurden Optimierungsmaßnahmen umgesetzt, insbesondere in Bezug auf die Integration der Sensorik in bestehende Messsysteme.

Nach der Optimierung der Sensortechnologie wurde der große Feldtest mit 200 Sensoren vorbereitet und beauftragt. Ziel war es, die Lösung unter realen Bedingungen im Netzbetrieb zu validieren und deren Skalierbarkeit zu testen. Hierbei wurden verschiedene Einsatzszenarien erprobt, um zu untersuchen, wie sich eine größere Anzahl von Sensoren auf die Netzstabilität und Datenverfügbarkeit auswirkt. Zudem wurde getestet, wie die Sensordaten in bestehende Netzmanagementsysteme integriert werden können.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Vorhabenbeginn

Vor Beginn des Projekts basierte die Forschung zu Distributed Ledger-Technologien hauptsächlich auf Blockchain-Ansätzen. Die Integration von IOTA, einem DAG-basierten Protokoll, in IoT-Systeme war ein neuer und innovativer Ansatz. Es existierten keine vergleichbaren Implementierungen, die eine zuverlässige, großskalige Sensordatenerfassung in Energienetzen ermöglichen konnten. Die wissenschaftliche Literatur diente zur Bewertung der IOTA-Technologie und zur Analyse der Performanz von LoRaWAN. Bekannte Schutzrechte wie das Patent DE102017117170, für ein Verfahren zur Etablierung einer sicheren Ende-zu-Ende Verbindung über LoRaWAN, wurden berücksichtigt, jedoch nicht überschritten.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Vorhaben war ein Verbundprojekt mit mCloud Systems, TU Chemnitz, Fraunhofer FIT, Fraunhofer IPT, peerOS GmbH, TIP GmbH und der IOTA Stiftung. SWO Netz arbeitete als verantwortlicher Partner für das übergeordnete Projektmanagement eng mit den Projektpartnern zusammen, um die entwickelten Lösungen zu implementieren und evaluieren. Eine enge Zusammenarbeit bestand zudem mit smartOPTIMO, die als Messstellenbetreiber und GWA-Dienstleister für die SWO Netz damit beauftragt wurden, die Installation der IoT-

Sensornodes im Feldtest vorzubereiten und den Einbau durchzuführen. Diese Kooperation ermöglichte den Austausch von Forschungsergebnissen und technologischem Wissen und führte zu einer praxisnahen Umsetzung.

III. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die im Rahmen des Projekts bewilligten Fördermittel wurden gezielt eingesetzt, um die technische Erprobung und Integration der entwickelten Sensortechnologie unter realen Bedingungen durchzuführen. Die SWO Netz GmbH spielte dabei eine zentrale Rolle in der Praxisvalidierung der entwickelten LoRaWAN-Sensorplattform, indem sie ihre Infrastruktur bereitstellte, Tests durchführte und die Skalierbarkeit der Technologie bewertete. Die Arbeiten gliederten sich in verschiedene Arbeitspakete, in denen sowohl technologische Entwicklungen als auch regulatorische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt wurden.

Arbeitspaket 0 (Projektmanagement)

Die Förderung ermöglichte der SWO Netz GmbH, die Projektkoordination innerhalb des Verbundvorhabens zu übernehmen und den erfolgreichen Ablauf sicherzustellen. Ein wesentlicher Bestandteil war die enge Abstimmung mit den Konsortialpartnern, insbesondere im Hinblick auf die technische Entwicklung der Sensormodule, die Bereitstellung der LoRaWAN-Infrastruktur und die Definition der Anforderungen aus Netzbetreibersicht. Durch die Organisation regelmäßiger Konsortialtreffen, technischer Workshops und Meilensteinmeetings wurde gewährleistet, dass alle Beteiligten auf einer gemeinsamen Informationsbasis arbeiteten und die Projektziele effizient verfolgt wurden.

Das ursprüngliche Ziel dieses Arbeitspakets bestand darin, eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen den Partnern zu ermöglichen und eine effiziente Projektsteuerung zu gewährleisten. Dieses Ziel wurde vollumfänglich erreicht, wobei sich zeigte, dass insbesondere die praxistaugliche Entwicklung des Sensornodes und aufwendige Vorbereitung des Feldtests zusätzlich Zeit in Anspruch nahm. Zusätzlich nahm die Abstimmung mit der Stadt Osnabrück ungeplante Kapazitäten in Anspruch.

Arbeitspaket 1 (Anforderungen und Systemarchitektur)

Ein zentraler Bestandteil der Projektarbeiten war die Definition der technischen Anforderungen an das Sensor- und Kommunikationssystem aus der Perspektive eines Netzbetreibers. Hierbei wurden verschiedene Aspekte wie Datenübertragungsfrequenz, Kommunikationssicherheit, Interoperabilität mit bestehenden Systemen und regulatorische Anforderungen analysiert und spezifiziert.

Die Zielsetzung war es, eine flexible und skalierbare Sensorlösung zu entwickeln, die sich in bestehende Messsysteme integrieren lässt und mit den regulatorischen Rahmenbedingungen kompatibel ist. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Eichrechtskonformität und den Sicherheitsanforderungen an die Messwertübertragung.

Im Projektverlauf stellte sich heraus, dass die ursprünglich geplante direkte Integration der Sensormodule in bestehende Smart-Meter-Infrastrukturen nicht ohne Weiteres möglich war, da die technischen Voraussetzungen und Schnittstellen am Smart-Meter-Gateway (SMGW) nicht mit dem Sensornode kompatibel sind. Dies führte zu einer Anpassung der Zielsetzung, indem die Sensornode-Lösung für die Digitalisierung des Netzgebietes vorgesehen wurde und speziell für Verbraucher unter 6.000 kWh verwendet werden kann, die nicht vom Smart-Meter-Rollout betroffen sind. Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets flossen in die technische Weiterentwicklung der Sensormodule und in die anschließenden Feldtests ein.

Arbeitspaket 5 (Frontend: IoT Sensor Node/Nachrüstmodul)

Im Rahmen der Entwicklung eines Nachrüstmoduls für moderne Messeinrichtungen (mME) wurde von SWO Netz eine Testumgebung mit realen Zählern bereitgestellt, um die Kompatibilität der Sensortechnologie mit bestehenden Systemen zu erproben. Die Sensoren sollten in der Lage sein, Messwerte aus bestehenden modernen Messeinrichtungen über LoRaWAN zu übertragen, sodass eine skalierbare und vor allem für kleine Verbrauchsstellen, wirtschaftliche Alternative zu klassischen Smart-Meter-Gateways entsteht.

Während der Entwicklungsarbeiten zeigte sich, dass verschiedene Zählertypen unterschiedliche Schnittstellen besitzen, was eine Anpassung der Hardwarearchitektur erforderte. In Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern wurden mehrere Hardwareversionen getestet, bis eine kompatible und praktikable Lösung entwickelt wurde. Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets trugen maßgeblich zur Praxistauglichkeit der entwickelten Sensoren bei und ermöglichten eine erste Validierung in der realen Netzumgebung.

Arbeitspaket 6 (Demonstration einer Beispielanwendung, Funktionsnachweis und Leistungsbewertung des Gesamtsystems)

Der bedeutendste Teil der Projektförderung wurde für die Durchführung der Feldtests eingesetzt, die von SWO Netz koordiniert und überwacht wurden. In einer ersten Phase wurde ein kleiner Feldtest durchgeführt, um die grundlegende Funktionalität und Stabilität der Kommunikation über LoRaWAN zu überprüfen. Dabei wurde insbesondere untersucht, ob die Sensornodes stabile und konsistente Messwerte über die vorhandene LoRaWAN-Infrastruktur übertragen können.

Die Testergebnisse zeigten, dass die Übertragung grundsätzlich funktionierte, jedoch in bestimmten Umgebungen Optimierungsbedarf bei der Antennentechnik bestand. Zudem wurde festgestellt, dass äußere Faktoren wie Gebäudestrukturen und Netzwerkauslastung die Qualität der Datenübertragung beeinflussen können. Diese Erkenntnisse flossen in die Weiterentwicklung der Sensorhardware ein, um eine robustere und zuverlässigere Lösung zu schaffen.

In Vorbereitung auf den großen Feldtest hat die SWO Netz die Abdeckung des LoRaWAN Netzes in Osnabrück für die flächendeckende Verwendung der Sonsornodes bewertet und strukturiert einzelne Gebiete mit neuen LoRaWAN Gateways nachverdichtet, um die Erreichbarkeit der Geräte zu gewährleisten.

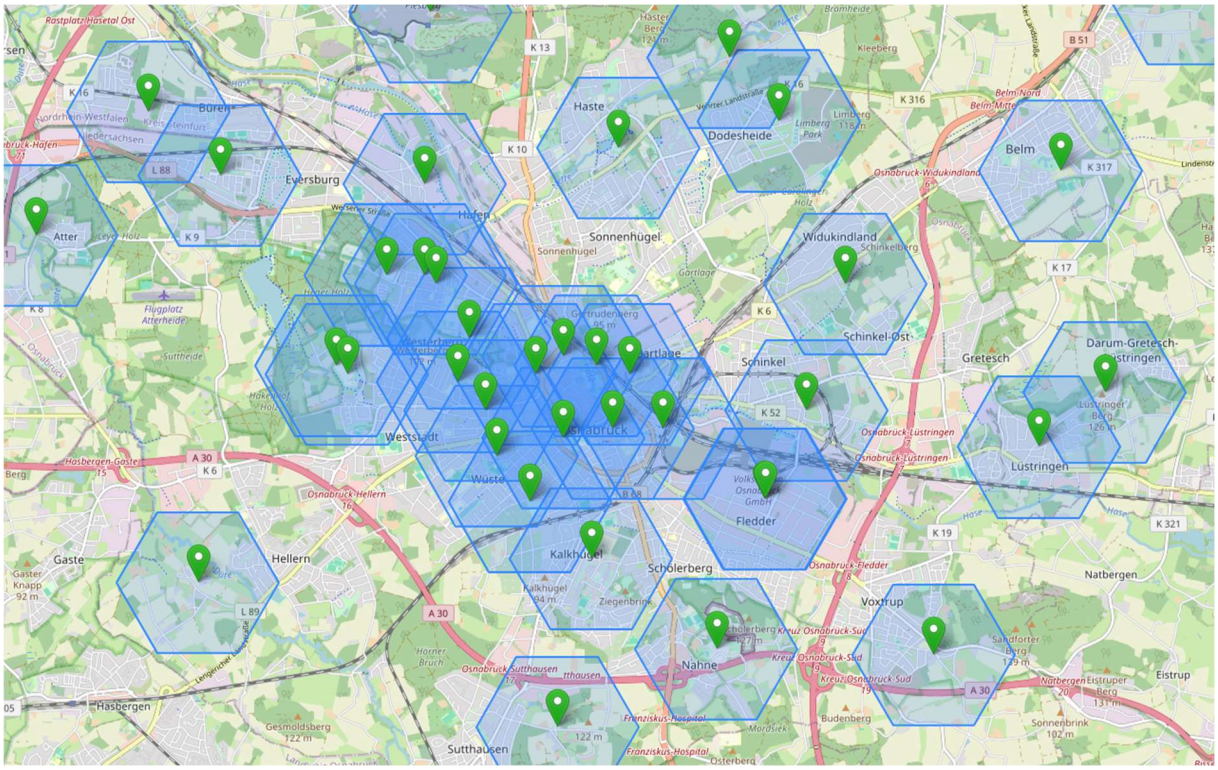

Abbildung 4: Netzausbau vor Projektbeginn

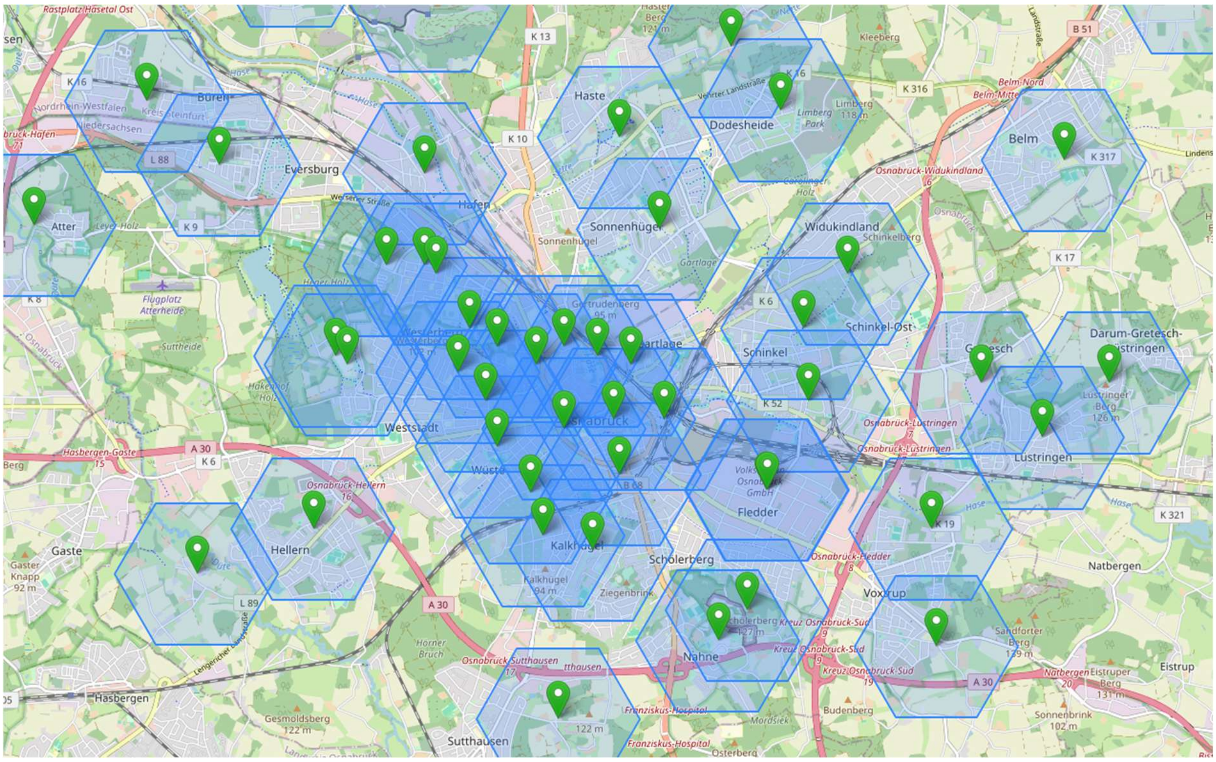

Abbildung 5: Netzausbau zu Projektende

Im weiteren Verlauf des Projekts wurde der große Feldtest vorbereitet und mehr als 200 Sensoren in die IOT-Plattform niotix integriert. Ziel dieses Feldtests war es, die Skalierbarkeit der Lösung zu bewerten und festzustellen, wie sich eine größere Anzahl von Sensoren auf die Netzstabilität und Datenverfügbarkeit auswirkt.

Während der Testung von Stichproben wurden umfassende Datenanalysen durchgeführt, um die Performance des Systems zu messen und mögliche Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Gleichzeitig wurde untersucht, wie die Sensorlösung in bestehende Netzmanagementsysteme eingebunden werden kann und welche Anpassungen notwendig wären, um eine breitere Markteinführung zu ermöglichen.

Während dieses Feldtests bestätigte sich, dass die entwickelte Lösung grundsätzlich praxistauglich ist. Regulatorische Einschränkungen für die rechnungsrelevant Verarbeitung der Messwerte erschweren eine unmittelbare Marktimplementierung. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Demonstrationsphase bildeten die Grundlage für die weiterführende Bewertung der Verwertungsmöglichkeiten und mögliche Anpassungen der Systemarchitektur.

Während des gesamten Projektverlaufs waren enge Abstimmungen mit den anderen Konsortialpartnern erforderlich, um die technischen Entwicklungen mit den Anforderungen der Netzpraxis zu harmonisieren. Besonders in den Phasen der Feldtests zeigte sich, dass eine praxisnahe Evaluation entscheidend ist, um die Praxistauglichkeit und Skalierbarkeit einer neuen Technologie bewerten zu können. Die Erkenntnisse aus den durchgeführten Tests und Optimierungen flossen direkt in die Weiterentwicklung der Sensorhardware und der

Systemarchitektur ein, wodurch sich die Lösung kontinuierlich verbessern ließ. Die gewonnenen Testergebnisse werden von der SWO Netz GmbH sowie dem assoziierten Projektpartner smartOPTIMO ebenfalls weiteren Stadtwerken und Energienetzbetreibern präsentiert, um den Wissenstransfer zu fördern und die Anwendbarkeit der entwickelten Lösungen in unterschiedlichen Netzumgebungen zu evaluieren.

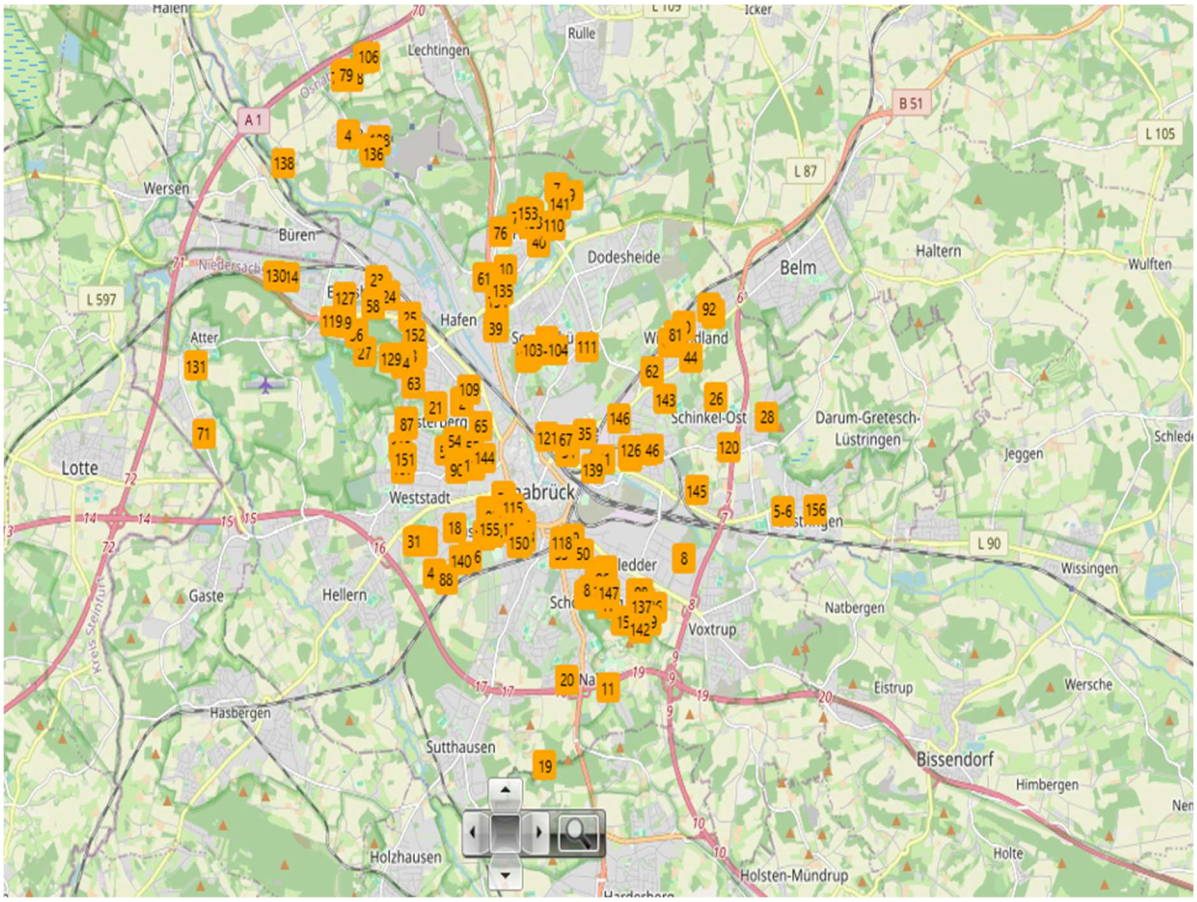

Abbildung 6: Einbauorte der Sensoren gemäß Roll-Out Planung

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Ein Großteil der Mittel wurde für Personalkosten verwendet, insbesondere für die Betreuung der Feldtests und die Koordination mit den Projektpartnern. Sachkosten entfielen auf die Anschaffung neuer LoRaWAN-Gateways zum Verdichten der Netzinfrastruktur und die Bereitstellung der bestehenden Netzinfrastruktur. Externe Dienstleistungen wurden in Anspruch genommen, insbesondere im Rahmen der Zusammenarbeit mit smartOPTIMO und weiteren technischen Dienstleistern.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten waren essenziell, um die technische Machbarkeit des Systems zu testen und regulatorische Herausforderungen frühzeitig zu identifizieren. Die Feldtests

haben gezeigt, dass die entwickelte Lösung grundsätzlich funktioniert, und das System eine praxistaugliche und wirtschaftliche Alternative für die Fernauslesung von Messstellen mit geringem Verbrauch und der Digitalisierung des Netzes darstellt. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.

Die im Projekt entwickelten Sensormodule und die zugrundeliegende LoRaWAN-Technologie bieten erhebliches Potenzial für die Digitalisierung der Energiewirtschaft und die Weiterentwicklung smarter Netztechnologien. Die wichtigsten Vorteile liegen in der kostengünstigen und flexiblen Nachrüstbarkeit bestehender Zählerinfrastrukturen, der Reduktion manueller Ablesekosten sowie der Möglichkeit, durch eine dezentrale und sichere Datenübertragung neue Smart-Grid-Anwendungen zu ermöglichen.

Allerdings stehen diesen Vorteilen regulatorische Hürden gegenüber. Die derzeitige Gesetzeslage verpflichtet Netzbetreiber bei der Erzeugung von rechnungsrelevanten Messdaten zur Nutzung von Smart-Meter-Gateways (SMGW), wodurch alternative Kommunikationsmethoden wie LoRaWAN in der aktuellen Form nur begrenzt eingesetzt werden können. Daher sind für eine erfolgreiche Verwertung verschiedene Weiterentwicklungen und strategische Anpassungen erforderlich, um die entwickelten Technologien wirtschaftlich nutzbar zu machen.

Wirtschaftlicher Nutzen und Marktpotenzial

Die Sensormodule bieten eine kosteneffiziente Alternative zu bestehenden Smart-Meter-Lösungen und könnten insbesondere für Netzbetreiber und Messstellenbetreiber eine wirtschaftlich attraktive Lösung zur Verbrauchsdatenerfassung darstellen. Zielgruppe sind Messstellen, die nicht vom Smart-Meter-Rollout betroffen sind. Die Hardware ist vergleichsweise günstig in der Anschaffung und kann flexibel in bestehende Infrastrukturen integriert werden. Im Vergleich zu traditionellen Ablesemethoden könnten durch die automatisierte Datenerfassung signifikante Einsparungen bei den Betriebskosten der Messstellenbetreiber erzielt werden, insbesondere in Gebieten mit hoher Zählerdichte.

Darüber hinaus zeigt sich ein weiteres Marktpotenzial in der Optimierung der Netzinfrastruktur durch eine verbesserte Datentransparenz. Durch die flächendeckende Erfassung von Lastprofilen könnten Netzbetreiber frühzeitig auf Lastspitzen und Netzschwankungen reagieren und somit die Netzstabilität erhöhen. Dies wäre insbesondere mit Blick auf die zunehmende Integration erneuerbarer Energien ein entscheidender Vorteil, da eine intelligentere Steuerung von Einspeisern und Verbrauchern ermöglicht wird.

Regulatorische Herausforderungen und Lösungsansätze

Die zentrale Herausforderung für die Verwertung des Systems bleibt die gesetzliche Vorgabe zur Nutzung von Smart-Meter-Gateways als Standardkommunikationsweg für rechnungsrelevante Messwerte aus modernen Messeinrichtungen. Dies verhindert eine direkte Markteinführung des LoRaWAN-Systems in seiner jetzigen Form.

Langfristig könnte eine regulatorische Öffnung für alternative Übertragungstechnologien wie LoRaWAN erfolgen, insbesondere wenn sich zeigt, dass solche Technologien eine höhere Skalierbarkeit und geringere Betriebskosten als bestehende Systeme bieten. Eine aktive Einbindung der Technologieentwickler in den regulatorischen Dialog könnte daher ein wichtiger strategischer Schritt sein, um die Einführung der Technologie zu erleichtern.

Technologische Anschlussfähigkeit und alternative Anwendungsbereiche

Unabhängig von der direkten Anwendung im Energiesektor zeigen die Projektergebnisse, dass die entwickelte Sensortechnologie, insbesondere die Implementierung der IOTA Technologie auf den Sensornodes, in einer Vielzahl weiterer Anwendungsfelder eingesetzt werden kann. Insbesondere in Bereichen, in denen Daten dezentral erfasst, kabellos übertragen und sicher gespeichert werden müssen, bietet die entwickelte Lösung erhebliche Vorteile.

Ein naheliegendes Anwendungsfeld ist die Wasserversorgung, wo die Technologie für die automatische Fernauslesung von Wasserzählern genutzt werden könnte. Viele Wasserversorger stehen vor der Herausforderung, Zählerstände in großen Versorgungsgebieten regelmäßig zu erfassen. Hier könnte eine LoRaWAN-basierte Lösung eine deutliche Effizienzsteigerung ermöglichen und gleichzeitig den Wasserverbrauch durch Echtzeitüberwachung optimieren.

Auch im Bereich der Smart City-Infrastrukturen könnte die Technologie weiterentwickelt und angepasst werden. Beispielsweise könnten Ladeinfrastrukturen für Elektromobilität mit der Sensortechnologie ausgestattet werden, um Echtzeitinformationen über den Ladezustand und die Verfügbarkeit von Ladestationen zu liefern. Ebenso könnte das System in der Parkraumbewirtschaftung eingesetzt werden, um belegte und freie Parkplätze in Echtzeit zu erfassen und somit den innerstädtischen Verkehr zu optimieren.

Darüber hinaus könnte die Technologie in der Landwirtschaft Anwendung finden, insbesondere für die Überwachung von Bodenfeuchtewerten und Bewässerungssystemen. In Kombination mit KI-gestützten Vorhersagemodellen könnten intelligente Bewässerungssysteme entwickelt werden, die den Wasserverbrauch reduzieren und die Effizienz in der Agrarwirtschaft steigern.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die Weiterentwicklung

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse bieten eine solide Grundlage für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um die Technologie für eine breitere Markteinführung vorzubereiten. Ein wesentlicher Schwerpunkt künftiger Entwicklungen wird die Weiterentwicklung der Sensormodule zur Unterstützung eines breiteren Spektrums an Zählertypen und Messsystemen sein.

Parallel dazu sollten weitere Optimierungen der Energieeffizienz vorgenommen werden, um die Sensormodule für den Langzeiteinsatz ohne externe Stromversorgung zu optimieren. Hier könnte insbesondere der Einsatz energieautarker Lösungen, wie beispielsweise durch Energy Harvesting oder Solarzellen, einen zusätzlichen Mehrwert schaffen.

Ein weiterer Forschungsbereich betrifft die Optimierung der LoRaWAN-Kommunikation für eine verbesserte Netzabdeckung und Signalstärke. Während der Feldtests wurde festgestellt, dass Gebäudestrukturen und lokale Netzwerkauslastung die Signalqualität beeinflussen können. Zukünftige Forschungsarbeiten könnten sich mit adaptiven Antennensystemen oder neuen Frequenzbändern befassen, um die Systemperformance weiter zu steigern.

Zusammenfassung und langfristige Perspektive

Die Projektergebnisse zeigen, dass die entwickelte Sensortechnologie ein hohes Innovationspotenzial besitzt und in verschiedenen Bereichen gewinnbringend eingesetzt werden könnte. Während die regulatorischen Rahmenbedingungen derzeit noch eine direkte Markteinführung im Energiesektor erschweren, gibt es verschiedene Strategien, um das System dennoch wirtschaftlich zu verwerten.

Perspektivisch könnten ggf. auch Lösungen entwickelt werden, die es ermöglichen mit den Sensornodes eine direkte Verbindung mit den Smart-Meter-Gateways einzugehen und erste Anwendungsszenarien geschaffen werden, die mit den aktuellen Vorschriften konform sind. Mittelfristig könnte eine regulatorische Anpassung dazu beitragen, dass alternative Kommunikationsmethoden wie LoRaWAN in den Messstellenbetrieb integriert werden, insbesondere für Messstellen, die nicht vom Smart-Meter-Rollout betroffen sind. Langfristig besteht erhebliches Potenzial für die Übertragung der Technologie auf weitere Anwendungsbereiche, insbesondere in den Bereichen Wasserversorgung, Mobilität und Smart Cities.

4. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit gab es keine konkurrierenden Entwicklungen, die den Projekterfolg gefährdet hätten. Allerdings könnten künftige Änderungen im

Messstellenbetriebsgesetz den Weg für eine breitere Markteinführung der entwickelten Lösung ebnen.

5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11

Es erfolgten bzw. es werden seitens SWO Netz keine Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 erfolgen.