

Abschlussbericht

Entwicklung eines intelligenten und cloudbasierten Batterie-Monitoring-Systems für mobile wie auch akkubetriebene IT-Systeme (BAMO)

Projektträger: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
An der Bornau 2
49090 Osnabrück



Projektnehmer: Systec & Solutions GmbH
Emmy-Noether-Str. 17
76131 Karlsruhe



Projektleiter: Philipp Linder
AktENZEICHEN: 33834/01

Projektpartner: enOware GmbH
Emmy-Noether-Str. 17
76131 Karlsruhe
Projektleiter: Simeon Meier



Laufzeit des Vorhabens 14.02.2017 – 30.06.2018

Autoren: Philipp Linder
Simeon Meier

1 Projektkennblatt

| | | | | | |
|--|-------------------|--|-----------------|---|---------------------|
| 06/02 | | Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt | |  | |
| Az | 33834/01 | Referat | 21/2 | Fördersumme | 123.000,00 € |
| Antragstitel | | Entwicklung eines intelligenten und cloudbasierten Batterie-Monitoring-Systems für mobile wie auch akkubetriebene IT-Systeme | | | |
| Stichworte | | Batterie-Monitoring, Akkusystem, Akku, Einsatzsicherheit, Lebenserwartung, AMG, Blei-Säure, Lithium-Ionen, Energieeffizienz, Online-Monitoring | | | |
| Laufzeit | Projektbeginn | Projektende | Projektphase(n) | | |
| 12 Monate | 14.02.2017 | 30.06.2018 | I | | |
| Zwischenberichte | | | | | |
| Bewilligungsempfänger | | System & Solutions GmbH Emmy-Noether-Str. 17 76131 Karlsruhe | | Tel | 0721 6634-400 |
| | | | | Fax | 0721 6634-444 |
| | | | | Projektleitung Philipp Linder | |
| | | | | Bearbeiter Philipp Linder | |
| Kooperationspartner | | enOware GmbH Emmy-Noether-Straße 17 76131 Karlsruhe | | | |
| Zielsetzung und Anlass des Vorhabens | | | | | |
| <p>Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines intelligenten, cloudbasierten Batterie-Monitoring Systems welches batterietypunabhängig die Lebenserwartung und Einsatzsicherheit von Akkusystemen erhöhen soll. Damit sollen signifikante Materialeinsparungen und Entlastung der Umwelt erzielt werden, indem Akkus verschiedener Typen wie beispielsweise AMG, Blei-Säure, Lithium-Ionen etc. seltener getauscht und effizienter betrieben werden können. Zudem soll das BAMO System die Möglichkeiten bieten, akkubetriebene Systeme über ein Cloud-System online monitoren zu können.</p> | | | | | |
| Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden | | | | | |
| <p>Innerhalb des Entwicklungsprojekts müssen System & Solutions und enOware in vielen Bereichen neue technische Lösung erarbeiten. Wesentliche Projektschritte sind:</p> | | | | | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Entwicklung eines miniaturisierten, universell einsetzbaren Hardware Batteriemoduls Unabhängig vom Batterietyp soll das Modul energieeffizient eingesetzt werden können und mit drahtlosen Schnittstellen ausgerüstet sein. 2. Entwicklung der Firmware für das Batteriemodul Die Firmware soll universell die Lebenserwartung und Einsatzsicherheit von Akkusystemen erhöhen, indem hierfür spezielle Algorithmen entwickelt werden. 3. Entwicklung einer Software für eine energieeffiziente Datenübertragung mit IoT- Schnittstellen Über eine drahtlose IoT Schnittstelle, eine Art Meshed-Sensornetwork erfolgt die Einbindung des Hardware-Batteriemoduls an ein zentrales Cloud-System 4. Entwicklung einer cloudbasierten Datenvisualisierung Über ein Battery-Cloudsystem sollen alle Informationen der angebotenen Batteriemodule visualisiert wie auch frühzeitig Alarmmeldungen zum Status des Ladezustand und Batterie-Lifecycle angezeigt werden können. | | | | | |
| <small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de</small> | | | | | |

Ergebnisse und Diskussion

Mit dem innerhalb des Projektes entwickelten BAMO Systems, können ausgewählte AGM Akkus mittels einer kompakten sowie energieeffizienten Hardware, den BAMO Knoten, drahtlos überwacht werden. Dabei ist besonders die Reichweite der drahtlosen Anbindung der BAMO Knoten auch innerhalb von Gebäuden über mehrere Kilometer möglich.

Mittels der dafür verwendeten Übertragungstechnologie LoRa können jegliche Akkudaten drahtlos an das BAMO Gateway übermittelt werden, welches die Daten an das BAMO Portal weiterleitet. Über ein Webdashboard können dann die gesamten Akkudaten der mobilen IT-Systeme visualisiert und ausgewertet werden. Mittels integrierter Alarming Funktionen wird der Betreiber dann rechtzeitig vor dem Tiefentladen eines Akkus informiert, um den Betrieb des Akkusystems mit der besten Effizienz und einer verlängerten Lebensdauer zu ermöglichen.

Das Projekt zeigte ein sehr großes Potential durch das Schaffen einer Entwicklungsbasis auf die mittels eines möglichen Folgeprojektes mit den gewonnenen umfangreichen Erfahrungen aufgebaut werden kann. Dabei soll die Zielsetzung insbesondere die Ressourcenschonung beim Einsatz unterschiedlicher Akkutypen sein. Aufgrund der erlangten Erfahrungen innerhalb des Projekts und der noch offenen Punkte, ist jedoch ein wirtschaftliches Risiko zur weiteren Projektdurchführung gegeben. Die innerhalb des Projekts gewonnenen Erfahrungen bieten jedoch das Potential bei erfolgreicher Weiterentwicklung des BAMO Systems mit möglichen weiteren Anwendungsgebieten aus umweltpolitischer Sicht einen deutlichen Mehrwert zu schaffen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Vorstellung bei ersten potentiellen Kunden und Vorstellung im Rahmen der vertrieblichen Tätigkeiten. Erste Reaktionen und Meinungen vom Markt eingeholt. Weitere Präsentationen und Vorstellungen sind geplant.

Fazit

Innerhalb des Projekts BAMO konnte ein Prototyp realisiert werden, welcher ein intelligentes und cloudbasiertes Batterie-Monitoring für mobile akkubetriebene IT-Systeme grundlegend ermöglicht. Dabei wurde aufgezeigt, dass mit der BAMO Systemausrüstung der batteriebetriebenen IT-Systeme ein effizienterer und ressourcenschonender Betrieb möglich ist, da Statusinformationen wie Alarmmeldungen zum Akkuladezustand umgehend an den Betreiber weitergeleitet werden können. Auf Messdaten zur Auswertung der Zustände und der Verwendung der Akkubetriebenen Systeme können laufend über die Cloud-Anbindung plattformunabhängig eingesehen werden.

Der innerhalb des Projekts realisierte Prototyp schafft eine sehr gute Grundlage zur Weiterentwicklung. Durch die gewonnenen Erfahrungen innerhalb des BAMO Projekts können die Ziele für eine mögliche Weiterentwicklung nun deutlich besser abgeschätzt werden. Insbesondere zeigt sich durch das erreichte Ergebnis auf, dass das BAMO System auch großes Potential zu weiteren Einsatzgebieten im IoT Umfeld auch mit anderen Akkusystemen aufweist.

2 Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | PROJEKTKENBLATT | 1 |
| 2 | INHALTSVERZEICHNIS | 3 |
| 3 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 4 |
| 4 | ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 5 |
| 5 | ZUSAMMENFASSUNG | 6 |
| 6 | EINLEITUNG | 7 |
| 7 | HAUPTTEIL | 9 |
| 7.1 | DEFINITION DER ANFORDERUNGEN AN BAMO | 9 |
| 7.2 | AUSWAHL DER TECHNOLOGIE UND KOMPONENTEN | 10 |
| 7.2.1 | BATTERIESYSTEM | 10 |
| 7.2.2 | HARDWARE | 11 |
| 7.2.3 | FIRMWARE | 11 |
| 7.2.4 | KOMMUNIKATION..... | 12 |
| 7.2.5 | MONITORINGPORTAL | 13 |
| 7.3 | ÜBERSICHT BAMO GESAMTSYSTEM | 14 |
| 7.4 | ENTWICKLUNG DES BAMO SYSTEMS | 16 |
| 7.4.1 | BAMO SENSORMODUL | 16 |
| 7.4.1.1 | Hardware..... | 16 |
| 7.4.1.2 | Firmware | 18 |
| 7.4.1.3 | Kommunikation..... | 19 |
| 7.4.2 | BAMO WEBPORTAL | 19 |
| 7.5 | FELDVERSUCHE | 21 |
| 7.6 | ERGEBNIS UND WEITERES VORGEHEN | 21 |
| 7.6.1 | UMWELTPOLITISCHE RELEVANZ..... | 23 |
| 7.6.2 | VERWERTUNG DER ERGEBNISSE..... | 23 |
| 8 | FAZIT | 25 |
| 9 | LITERATURVERZEICHNIS | 26 |
| 10 | ANHÄNGE | 27 |
| 10.1 | INFORMATION ZU LORA WAN | 27 |

3 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: GMP-TROLLEYS der Systec & Solutions GmbH..... | 9 |
| Abbildung 2: Übersicht BAMO Gesamtsystem..... | 15 |
| Abbildung 3: Übersicht BAMO Knoten..... | 16 |
| Abbildung 4: BAMO Sensormodul Blockschaltbild..... | 17 |
| Abbildung 5: BAMO Sensormodul Elektronik | 18 |
| Abbildung 6: Ablaufplan der Firmware | 18 |
| Abbildung 7: Systemstruktur LoRa Server Project [1]..... | 20 |
| Abbildung 8: Beispiel Mockups zum BAMO Portal..... | 20 |
| Abbildung 9: BAMO Portal Dashboard..... | 21 |

4 Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Erklärung |
|------------------|------------------------------|
| BAMO | Battery Monitoring |
| AGM | Absorbent Glass Mat |
| HMI | Human Machine Interface |
| GMP | Good Manufacturing Practice |
| BMS | Battery Management System |
| HW | Hardware |
| LoRaWAN | Long Range Wide Area Network |
| IoT | Internet of Things |

5 Zusammenfassung

Das Projekt *Entwicklung eines intelligenten und cloudbasierten Batterie-Monitoring-Systems für mobile wie auch akkubetriebene IT-Systeme - „BAMO“*, umfasst die Entwicklung eines intelligenten cloudbasierten Batterie-Monitoringsystems für mobile akkubetriebene IT-Systeme. Im Vordergrund stehen hierbei die Betriebseffizienz und die Verlängerung der Einsatzdauer der integrierten Akkus. Der Schwerpunkt dieses Projekt lag auf ausgewählten AGM Akkus einer festgelegten Kapazität. Dabei wurden bereits alle Vorkehrungen getroffen, um die Anwendung des Systems auf weitere Akkutypen und Akkutechnologien zu ermöglichen. Mit dem innerhalb des Projekts entwickelten BAMO Systems können grundsätzlich Akkus mittels einer kleinen, energieeffizienten Hardware, den BAMO Knoten, drahtlos überwacht werden. Hier ist besonders die Reichweite der drahtlosen Anbindung der BAMO Knoten, auch bei Aufstellung innerhalb von Gebäuden über einige Kilometer möglich.

Mittels der dafür verwendeten Technologie LoRa können jegliche Akkudaten drahtlos an das BAMO Gateway übermittelt werden, welches die Daten an das BAMO Portal weiterleitet. Über ein Web-dash-board können dann die gesamten Akkudaten von IT-Systemen visualisiert und ausgewertet werden. Mittels integrierter Alarming Funktionen wird der Benutzer oder Betreiber rechtzeitig vor dem Tiefentladen eines Akkus informiert, um den Betrieb des Akkusystem mit der besten Effizienz zu ermöglichen. Die Benutzerverwaltung innerhalb des BAMO Portals ermöglicht die gezielte Berechtigungsverwaltung von Kompetenzgruppen oder Zuständigkeitsbereichen der Nutzer. Hiermit kann einfach gesteuert werden, welche Daten von dem jeweiligen Benutzer eingesehen und angezeigt werden sollen, um eine Übersichtliche und Einfache Darstellung ausgeben zu können. Auch eine Weiterleitung an mögliche interne und externe Stellen im einsetzenden Unternehmen, kann auf abweichenden Plattformen umgesetzt werden.

Das innerhalb des Projekts entwickelte BAMO-System bildet eine sehr gute Grundlage zur Weiterentwicklung hinsichtlich der Unterstützung weiterer Akkutypen, der Softwareerweiterung mit zusätzlichen Funktionen zur intelligenten Zustandsbewertung der Akkus und zur Ortung eines IT-Systems. Durch die Modularität besteht die Möglichkeit eine Vielzahl ergänzender Funktionen zu implementieren.

6 Einleitung

Ziel des Projektes BAMO ist die Entwicklung eines intelligenten und cloudbasierten Batterie-Monitoring Systems für mobile akkubetriebene IT-Systeme. Hierbei soll die intelligente Vernetzung zwischen den einzelnen drahtlosen „Batterieknoten“ ermöglicht werden, indem diese untereinander automatisch Statusinformationen austauschen und Alarmmeldungen weiterreichen können. Lösungen hierfür sind so noch nicht am Markt verfügbar und für einen erfolgreichen Einsatz sind umfangreiche Tests erforderlich.

Das neu entwickelte System bietet dem Anwender folgenden Nutzen:

- **Nachrüstbar:** Das eigentliche smarte BMS-Hardwaremodul, welches für nicht kommunikationsfähige Akkus notwendig ist, soll besonders klein sein und auf die Batterie geklebt werden können. Die Hardware umfasst eine Sensorplattform, Controller und Shunt sowie ein System zur drahtlosen Datenübertragung an das übergeordnete System.
- **Intelligent:** Bestandteil des Moduls ist ein intelligenter Algorithmus für das Batterie Life Cycle Management. So soll das System selbstständig erkennen, um welchen Batterietyp es sich handelt und wie der aktuelle Zustand ist.
- **Energieeffizient:** Das System erkennt selbstständig, wann es Daten übertragen muss. Zudem soll es auch die Messzeiträume selbstständig optimieren.
- **Alarming:** Erst bei Erreichen von definierten Schwellenwerten gibt das System einen Alarm ab. Damit wird eine permanente Datenübertragung verhindert. Dies unterstützt die Energieeffizienz des Gesamtsystems.
- **Zukunftsfähig:** Durch einen Industrie 4.0 Ansatz mit IoT Architektur – so soll die gesamte Datenaufbereitung, das Alarmhandling, die mögliche Dashboard-Technik in einem geeigneten mandantenfähigen Portal verfügbar gemacht werden.
- **Umweltnutzen und Kosteneinsparungen:** Kein proaktiver/ prophylaktischer jährlicher Austausch der Batterien ist mehr notwendig. Diese werden erst ausgetauscht, wenn die vorab definierten Werte nicht mehr erreicht werden.

Das Unternehmen Systec & Solutions GmbH mit Sitz in Karlsruhe in der Rolle als Projektleiter für das Gesamtprojekt, ist einer der führenden Anbieter für reinraumgeeignete Industrie-PCs und Human Machine Interfaces (HMIs). Systec & Solutions entwickelt auch kundenspezifische Produkte und Lösungen und bietet umfangreiche Dienstleistungen von der Beratung bis zur Montage dieser GMP-IT Systeme an. Ein erster Anwendungsfall mit umfangreichem Testeinsatz für das entwickelte BAMO System sollen dabei akkubetriebene fahrbare HMI Plattformen, der Produktfamilie TROLLEY sein. Im Rahmen des Projektes konnte in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner enOware ein Prototyp des modularen Sensorknotens für das BAMO System entwickelt werden.

Als Projektpartner wirkt innerhalb des BAMO Projekts das Unternehmen enOware GmbH mit Sitz in Karlsruhe mit. Die enOware GmbH ist Experte im Bereich der Entwicklung miniaturisierter, drahtloser Sensorsysteme wie auch dem webbasierten Monitoren von Messdaten. In Zusammenarbeit mit Systec & Solutions erfolgt die Entwicklung eines ersten Prototypen der BAMO Kommunikation, bestehend aus Sender und Gateway sowie des BAMO Cloud-Portals. Die Grundlage des BAMO Systems soll somit in Zukunft auch für weitere Anwendungsgebiete dezentraler Monitoring Lösungen eingesetzt werden

Die Projektziele von BAMO sind grundsätzlich die Entwicklung eines Low-Cost und vielfältig einsetzbaren Batterie-Monitoring Systems, welches universell an die Anforderungen zur Überwachung von Akkusystemen jeglicher Art, wie beispielsweise Li-Ion, AGM etc. verwendet werden kann. Dabei steht insbesondere die Ressourcenschonung im Vordergrund, welche durch die ständige Überwachung des Akkus die Einsatzdauer und damit den Live Cycle eines Akkus verlängern soll. Werden Akkusysteme im kritischen Umfeld verwendet soll damit auch die Einsatzsicherheit erhöht werden, da zu jeder Zeit eine Statusinfo zum Akkuzustand erfolgen kann.

Schwerpunkte des BAMO Systems sind zudem eine einfache Nachrüstbarkeit bei bestehenden, sich im Einsatz befindlichen Akkusystemen. Durch eine lernfähige Intelligenz soll darüber hinaus ermöglicht werden, eine Aussage über den Zustand des Akkus treffen zu können. Eine drahtlose Vernetzung durch das BAMO Modul lässt einen universellen Einsatz zu, unabhängig vom akkuversorgten System. Dabei soll auch die Anforderung der Energieeffizienz erfüllt werden um den Akku nicht unnötig zu belasten.

Der Hintergrund zur Umsetzung des BAMO Projekts beruht auf umfangreicher, langjähriger Erfahrung, welche Systec & Solutions bei sich im Einsatz befindlichen Akkusystemen, meist AGM Technik, ausmachen konnte. Meist werden Akkus durch Fehlbedienung, falsche Anwendung bezüglich Ladevorgängen und Tiefentladung und mangels regelmäßiger Prüfung beschädigt. Um einem Ausfall im Betrieb vorzubeugen werden Akkus häufig prophylaktisch ausgetauscht. Dadurch werden Ressourcen verschwendet. Die Fehlinformation zum Akkustatus kann zudem zum Ausfall im Akkubetrieb führen was wiederum zu Stillständen des mit Akku betriebenen Systems führen kann. Aufgrund dessen stellt eine intelligente Überwachung, welche mittels Alarmfunktionen die verantwortlichen Personen über den Akkustatus informieren kann, in vielerlei Hinsicht einen wirtschaftlichen wie auch besonders ressourcenschonenden Vorteil dar. Durch die zusätzliche Universalität des BAMO Moduls sollen weitere Anwendungsbereiche möglich sein.

7 Hauptteil

Im Folgenden wird das Projekt BAMO mit der Gesamtübersicht, der Definition der Anforderungen, der Komponentenauswahl wie auch der erreichten Ergebnisse mit Bewertung beschrieben.

7.1 Definition der Anforderungen an BAMO

Auf Basis der Zielsetzung erfolgte im ersten Schritt die Ausarbeitung eines Lastenhefts zur Entwicklung des BAMO Systems. Hierzu wurde eine umfangreiche Anforderungsliste ausgearbeitet, welche die Anforderungen an das intelligente und cloudbasierte Batterie-Monitoring System festlegen soll. Der Schwerpunkt der Anforderungsliste liegt dabei insbesondere auf der Entwicklung des BAMO Systems zur Anwendung innerhalb mobiler akkubetriebener IT Systeme, den sogenannten GMP-TROLLEYS (siehe Abbildung 1) die Systec & Solutions bereits im Einsatz hat und einen ersten Anwendungsfall für Feldversuche darstellen sollen.



Abbildung 1: GMP-TROLLEYS der Systec & Solutions GmbH

Im Rahmen des Lastenhefts wurden die Anforderungen zu den erforderlichen Komponenten beschrieben die wie folgt aufgeteilt sind:

- **Batteriesystem**
Physikalisch, technische Anforderungen an das Batteriesystem wie beispielsweise Spannung, Akkutyp, Temperaturbereiche
- **Hardware**
Anforderungen an die zu entwickelnde Elektronikhardware der sogenannten BAMO Knoten, die das Kernelement des gesamten BAMO Systems sind. Die Anforderungen an die BAMO Knoten reichen von der elektrischen Anforderung, bis hin zum Formfaktor, der Messgenauigkeit wie auch der erforderlichen Funktionen. Die Schwerpunkte sind insbesondere der energieeffiziente Betrieb in Verbindung mit ausreichenden Ressourcen der Prozessoreinheit, die Erfassung jeglicher Akku-Parameter, die Möglichkeit der universellen Datenanbindung wie auch die Modularität. Weiterhin soll die Möglichkeit einer Positionsortung der BAMO Knoten innerhalb von Räumen möglich sein.

- Firmware**
 Die Firmware für den BAMO Knoten muss die Möglichkeit aufweisen, jegliche Akku-Parameter zu erfassen, diese vorzuhalten und darauf basierend mittels eines Algorithmus eine Bewertung des Gesundheitszustandes des Akkus durchführen zu können. Aus diesem Grund muss die Firmware modular erweiterbar sein, um weitere Funktionen implementieren zu können. Alle erfassten Daten sollen entsprechend vorverarbeitet an ein Portal weitergeleitet werden können.
- Kommunikation**
 Die Auswahl einer geeigneten drahtlosen Kommunikationslösung zur Anbindung der BAMO Knoten an das Monitoringportal ist insbesondere für den energieeffizienten und störungsfreien Betrieb eine Herausforderung. Einerseits muss die Anbindung verschlüsselt sein, andererseits eine höchste Energieeffizienz bei gleichzeitig hoher möglicher Reichweite aufweisen. Zudem soll die Möglichkeit gegeben sein, mittels Smartphone einen BAMO-Knoten zu parametrisieren.
- Monitoringportal**
 Das Monitoringportal ist das Kernstück zum Sammeln aller Akkudaten, welche über die jeweiligen BAMO Knoten erfasst werden. Hierbei soll das Portal die Möglichkeit einer Userverwaltung mit Rollenkonzept für die Zuordnung der BAMO Knoten aufweisen. Alle Messdaten sollen in einer Datenbank abgelegt werden und für jedes BAMO Modul sollen mittels einer Visualisierungsmöglichkeit die Messdaten dargestellt werden können. Über Alarming-Funktionen soll die Möglichkeit bestehen, rechtzeitig bei Unstimmigkeiten zum Akkusystem eine Information zu erhalten. Das Monitoringportal soll webbasiert ausgeführt sein und plattformunabhängig verwendet werden können.

Innerhalb der ausführlichen Anforderungsliste ist die Erfüllung der Kriterien in „Mindest“, „Soll“ und „Ideal“ aufgeteilt. Mittels einer Klassifizierung der Anforderungen als solches wurden diese von 1-4 bewertet, wobei „1“ gleich „zwingend vorgeschrieben“ und „4“ gleich „gewünscht“ entsprechen. In Tabelle 1 ist exemplarisch ein Auszug einer Anforderung an die BAMO Hardware bezüglich der Versorgungsspannung aufgeführt.

Tabelle 1 – Beispiel zur Definition der Anforderung anhand der BAMO HW

| Anforderung | Art | Benennung | Min. | Soll | Ideal | Einheit |
|-------------|-----|---------------------|------|--------|-------|---------|
| REQ-HW-01 | 1 | Versorgungsspannung | 12 | 10..50 | 6..50 | V |

Das Lastenheft mit der ausführlichen Anforderungsliste schafft die Basis zur Recherche hinsichtlich geeigneter Technologien zum Erfüllen der Anforderungen an das BAMO System. Im Zuge der weiteren Recherchen wurde das Lastenheft fortführend ergänzt.

7.2 Auswahl der Technologie und Komponenten

7.2.1 Batteriesystem

Für die erste Entwicklung des BAMO Systems wurden Akkutypen ausgewählt, mit welchen Systec & Solutions bereits in Projekten Erfahrung sammeln konnte. Dies umfasst Akkus des Typs AGM mit einer Kapazität von 56 Ah und 107 Ah bei jeweils 12 VDC Nennspannung. AGM Akkus weisen den Vorteil einer Zyklentfestigkeit und längerer Haltbarkeit gegenüber klassischen Nass Bleiakkus auf. Zudem konnte zu den genannten AGM Akkutypen bereits auf geeignete Ladetechnologien und BMS-Systeme zurückgegriffen werden, die damit eine gute Voraussetzung für Testreihen mit einem BAMO Prototyp schaffen.

Im zweiten Schritt ist auch ein Li-Ion Akkutyp für Testreihen mittels des BAMO Moduls vorgesehen, der aber erst im späteren Projektverlauf ausgewählt werden soll.

7.2.2 Hardware

Im ersten Schritt wurde zur Auswahl der geeigneten Elektronikhardware und Komponenten eine umfassende Recherche durchgeführt, welche am Markt verfügbare Technologien zur Batterieüberwachung umfasste. Auf Basis der für die BAMO Hardware festgelegten Anforderungen hatte dies zum Ergebnis, dass auf Standardkomponenten für eine Gesamtlösung nicht zurückgegriffen werden kann und eine individuelle Elektronikentwicklung erfolgen muss. Die Entwicklung einer eigenen Elektronik hatte das Ziel, die gegebenen Anforderungen des Lastenheftes möglichst umfangreich zu erfüllen.

Insbesondere die Energieeffizienz hinsichtlich einer drahtlosen Anbindung an das Monitoringportal mit paralleler drahtloser Anbindung an weitere Endgeräte wie Smartphone o.ä. führt dazu, dass eine Elektronik entwickelt werden musste. Zudem soll die Hardware so flexibel wie möglich gehalten werden um auch Akkus verschiedener Typen zu einem späteren Zeitpunkt an das Gesamtsystem anbinden zu können.

Zur Auswahl der geeigneten Hardwarekomponenten wurden für die Entwicklung des Prototyps folgende Entscheidungen getroffen:

- Zur Erfassung der Batteriedaten wird ein Controller verwendet. Dieser beinhaltet bereits Schnittstellen, die eine Anbindung per I2C an einen Mikrocontroller ermöglichen und Akkudaten mittels eines Schaltungsaufbaus per Strommessung, Spannungsmessung, Coulomb Counter erfassen können.
- Kernstück der BAMO HW soll ein besonders energieeffizienter ARM basierter Controller sein, der zudem einen integrierten Bluetooth 4.0/5.0 Chip beinhaltet. Die gesamte Firmware soll dabei auf dem Controller laufen. Mittels der Unterstützung von Beacons kann zudem die Positionsbestimmung in Räumlichkeiten ermöglicht werden.
- Für die drahtlose Anbindung soll ein Funkmodul welches LoRaWAN unterstützt verwendet werden. Das ausgewählte Modul unterstützt die gesamte LoRaWAN Spezifikation, was die Entwicklung des Prototyps für erste Testreihen vereinfacht. Die Grundlagen zur Entscheidung hinsichtlich der drahtlosen Technik LoRaWAN sind in Kapitel 7.2.4 aufgeführt.
- Die Anbindung eines externen Temperatursensors soll vorgesehen werden.
- Eine Antennenanbindung für Bluetooth und LoRa wird vorgesehen
- Mit den ausgewählten Komponenten soll ein Schaltplan entwickelt werden, auf Basis dessen das Layout zur Fertigung der ersten Leiterplattenprototypen erstellt wird.

Zur Entwicklung und Fertigung des gesamten Hardwaremoduls steht die Miniaturisierung im ersten Schritt nicht im Vordergrund, sondern grundsätzlich soll die Voraussetzung für die Gesamtentwicklung des BAMO Prototyps mit den Anforderungen geschaffen werden.

7.2.3 Firmware

Die Firmware für das BAMO Modul ist das Kernelement zum Erfassen und Verarbeiten der Akkumessdaten und deren drahtlose Weiterleitung per LoRa an das Monitoringportal. Die Firmware, wel-

che auf dem Controller des BAMO Moduls betrieben wird, ist hinsichtlich der zu verwendenden Entwicklungsumgebung abhängig von der Controllerauswahl. Zur Entwicklung der Controller-Firmware werden folgende Entscheidungen getroffen:

- Für die Entwicklungsumgebung wird die vom Hersteller empfohlene Software Eclipse verwendet.
- Die Entwicklung erfolgt in der Programmiersprache C. Die Entwicklung der Firmware muss in Hinblick auf Energieeffizienz der Funktionen erfolgen.
- Ein drahtloser Betrieb per LoRaWAN und Bluetooth muss gleichzeitig innerhalb der Firmware möglich sein.
- Jegliche Metadaten zum Akku wie auch zum System in welches das BAMO Modul eingebaut wird (TROLLEY Systeme) sollen innerhalb der Firmware hinterlegt werden können. Per Bluetooth über ein Smartphone soll die Konfiguration des BAMO Moduls möglich sein.
- Die Firmware soll modular aufgebaut werden, so dass eine Erweiterung bzgl. die Vorberechnung von Akkudaten zum Gesundheitszustand und eine Beacon Funktion zur Geräteortung möglich sind.

Mittels einer ersten vereinfachten Firmware sollen Funktionen wie die Kommunikation per LoRa wie auch die Kommunikation mittels Bluetooth getestet werden. Danach wird die Firmware anhand der geforderten Funktionen, die im Detail zu einem späteren Zeitpunkt genauer definiert werden, anforderungsgebunden weiterentwickelt.

7.2.4 Kommunikation

Zur Auswahl der Technologie zur drahtlosen Kommunikation mit dem Monitoringportal erfolgte eine umfangreiche Recherche mit anschließender Bewertung. Der Schwerpunkt der Recherche lag insbesondere auf der Energieeffizienz der drahtlosen Technologie in Verbindung mit einer hohen Reichweite. Damit soll einerseits vermieden werden, dass ein BAMO Knoten den Akku unnötig belastet, andererseits muss der Nachrüstaufwand für zusätzliche Repeater / Gateways möglichst gering gehalten werden.

Im IoT Umfeld sind mittlerweile verschiedene Technologien etabliert, die sich grundsätzlich durch zwei Arten der Netzwerktopologie unterscheiden:

Point-to-Point Topologie

- Eine Point-to-Point Topologie ist die bekannteste Technologie zur drahtlosen Anbindung von Knoten. Die Verbindung erfolgt immer direkt von einem Knoten zum nächsten erreichbaren Gateway. Vorteil sind dabei die hohe Energieeffizienz, da ein Knoten nur dann Energie verbraucht, wenn er Daten sendet. Nachteil sind allerdings die erforderlichen Gateways, die ggf. für eine zusätzliche Netzwerkabdeckung installiert werden müssen. Eine bekannte Point-To-Point Topologie ist beispielsweise WLAN.

Meshed Topologie

- Eine Meshed Topologie hat den Vorteil, dass jeder Knoten auch die Funktion eines Gateways übernehmen kann und dadurch zwischen allen Knoten ein Netzwerk aufgebaut werden kann. Dadurch kann mit jedem weiteren Knoten innerhalb des Netzwerkes die Gesamtreichweite

erhöht werden. Der Vorteil ist die nahezu beliebige Erweiterung der Reichweite des Netzwerkes durch die Integration weiterer Knoten. Nachteil dieser Technologie ist allerdings die geringere Energieeffizienz, da Knoten innerhalb des Netzwerks immer zyklisch zum Weiterleiten von Daten „online“ sein müssen. Zudem sinkt die Datenrate durch Integration vieler Knoten, da der Signalweg immer jeden Knoten passieren muss.

Zur Bewertung wurden als geeignete erscheinende Technologien für die drahtlose Datenanbindung ausgewählt. Dabei wurden die Vor- und Nachteile, wie auch die Verfügbarkeit der Technologie mit Erfahrungswerten in anderen Referenzprojekten in Betracht gezogen. In der folgenden Tabelle 2 sind die drahtlosen Technologien mit Bewertung aufgeführt.

Tabelle 2 – Übersicht und Bewertung drahtlose Technologie (Stand Juni 2017)

| Funktechnologie | Vorteile | Nachteile |
|-----------------------|---|--|
| LoRa / LoRaWAN | Sehr hohe Reichweite auch in Gebäuden (2 km) / Vorortgebiet (15 km), ländlich (bis zu 40 km), Low Power, nur ein Gateway erforderlich, Erweiterung mit Gateways möglich | Nur sehr geringe Datenraten möglich. Datenübertragung zwischen 292 Bit/s und 50 Kilobit/s |
| WiFi | Hohe Datenraten möglich, Zugriff auf vorhandene Infrastruktur, verschlüsselt | Zertifikate, geringere Reichweite, bedingt Low Power |
| Tiny Mesh | Ein Modul mit verschiedenen Frequenzen | Fixes Protokoll, hoher Energiebedarf im Mesh-Betrieb, große Bauform |
| Filament | Hohe Verschlüsselung mit Blockchain | Noch nicht released, nur ausgewählte Testkunden, junge Technologie, keine Erfahrungswerte |
| NeoCortec | Meshed Network, verschiedene Frequenzen | Reichweite, bei hohen Datenraten ggf. immer online und damit größerer Energiebedarf, große Bauform |
| Bluetooth | Standard bei IT-Hardware, Störsicherheit aufgrund Frequenzhopping | Meistens sehr eingeschränkt hinsichtlich meshed und Stern Topologie |

Aufgrund der sich deutlich ergebenden Vorteile für den Einsatz der BAMO Knoten in Gebäuden mit der Anforderung einer höchsten Energieeffizienz und geringem Nachrüstungsaufwand, wird die LoRaWAN Technologie ausgewählt.

7.2.5 Monitoringportal

Das Monitoringportal soll einerseits die Möglichkeit bieten jegliche Messdaten der BAMO Knoten zu erfassen und in einer Datenbank zu speichern wie auch die Messdaten über eine Weboberfläche visualisieren zu können. Für die ausgewählte LoRaWAN Technologie sind zudem für die gesamte Datenpaketkette die LoRaWAN Anforderungen zu erfüllen, welche die gesamte Verschlüsselungstechnologie mit Anmeldung der Datenknoten beinhalten muss.

Um den Entwicklungsaufwand möglichst gering zu halten und ein schnelleres Ergebnis für die Portal-lösung zu erreichen, lag der Schwerpunkt der Technologierecherche auf Portal- und Softwarelösungen bereits verfügbarer Projekte, welche mit geringeren Modifikationen für die BAMO Monitoringlösung verwendet werden können. Eine spezifische Entwicklung der gesamten BAMO Portallösung wurde zudem bewertet, aber aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Projektzeit, verbunden mit hohem Entwicklungsaufwand, verworfen.

Nach umfangreicher Recherche und Bewertung verfügbarer Open Source wie auch kommerzieller Technologien werden folgende Softwarelösungen für die Entwicklung ausgewählt:

- Gesamte Datenkommunikation, Verwaltung und Betrieb über LoRaWAN mittels der Open Source Software LoRaServer Project
 Das LoRaServer Project beinhaltet die gesamte Verwaltung der LoRaWAN Knoten mit einer Server Applikation, eine Bibliothek für LoRaWAN Gateways wie auch das gesamte Verschlüsselungs- und Kommunikationshandling. Das LoRaServer Project wird aktiv entwickelt und steht unter der MIT Lizenz zur Weiterverwendung auch in kommerziellen Projekten. Die gesamten Schnittstellen sind sehr gut dokumentiert und spezifische Anwendungen können darauf aufgebaut werden. Eine Datenvisualisierung ist nicht Umfang des LoRa Server Projektes. Eine Anbindung an eine Monitoringportal muss deshalb entwickelt werden.
- Monitoringportal zum Visualisieren der Messdaten
 Auf dem Markt sind verschiedenste Monitoringplattformen für Anwendungen im Bereich IoT verfügbar. Der Fokus für die Auswahl einer geeigneten Open Source Plattform lag insbesondere auf dem Betrieb der Anwendung auf einem eigenen Server ohne die Verwendung einer vorhandenen Cloud mit externem Hosting wie auch die ausreichende Dokumentation zu möglichen Anpassungen. Zudem musste die Schnittstelle zur Anbindung der Messdaten aus den BAMO Knoten für eine Anbindung an den LoRaServer geeignet sein und das Portal auch bei der Evaluierung einfach bedienbar sein. Die Wahl fiel schlussendlich auf ThingsBoard, eine übersichtliche Portallösung zum Visualisieren von Sensormessdaten mit flexibler Anpassungsmöglichkeit und sehr gut dokumentierter Schnittstellen.

7.3 Übersicht BAMO Gesamtsystem

In Abbildung 2 ist das BAMO Gesamtsystem von den Sensorknoten mit angeschlossenem Akku bis zur Visualisierung über das Dashboard, das BAMO Portal, dargestellt. Für eine Übersicht werden im Folgenden die einzelnen Module kurz beschrieben. Eine genauere Beschreibung erfolgt dann in Kapitel 7.4 zur Entwicklung der einzelnen Teilfunktionen der Hard- und Software.

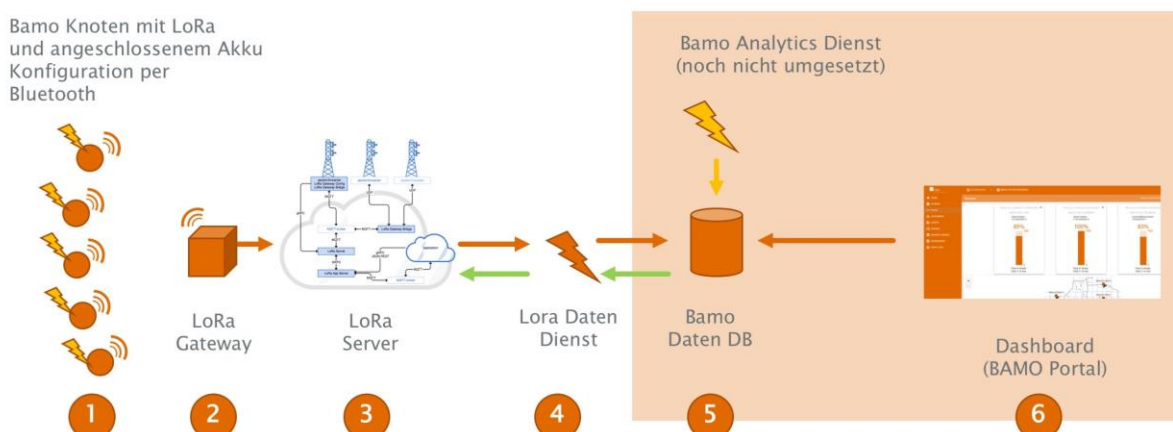


Abbildung 2: Übersicht BAMO Gesamtsystem

- **1 - BAMO Knoten**

Das BAMO Knoten Sensormodul ist eine besonders effiziente Elektronikbaugruppe zum Anschluss eines Akkus und integrierter Elektronik zur Messung jeglicher Akku-Kenndaten. Diese Daten werden vorverarbeitet und mittels der drahtlosen Funktechnik LoRa zum LoRa Gateway übertragen. Die gesamte Steuerung übernimmt der integrierte Controller. Über eine zusätzliche Bluetooth Schnittstelle kann jeder BAMO Knoten separat drahtlos konfiguriert werden.
- **2 - LoRa Gateway**

Das LoRa Gateway stellt die Verbindung zwischen den BAMO Knoten und dem LoRa Server her. Das Modul umfasst eine Hardware, innerhalb des Projekts einen Raspberry Pi, mit einem LoRa WAN Funkmodul. Jeder BAMO Knoten sendet immer die Daten direkt an einen LoRa Gateway. Zur Vergrößerung der Reichweite des gesamten LoRaWAN Netzwerkes kann das drahtlose Netzwerk mit beliebig vielen LoRa Gateways erweitert werden.
- **3 - LoRa Server**

Der LoRa Server ist die zentrale Einheit für die gesamte Steuerung des LoRaWAN Netzwerkes. Dabei erfolgt intern das gesamte Handling der einzelnen BAMO Knoten, welche an das LoRa Gateway angebunden sind, was die Verschlüsselung, die Verwaltung und den Datentransport beinhaltet. Der LoRa Server stellt die Messdaten, welche von jedem BAMO Knoten gesendet werden, über eine definierte Schnittstelle zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.
- **4 - LoRa Daten Dienst**

Der LoRa Daten Dienst stellt die Verbindung zwischen dem LoRa Server und dem BAMO Portal her. Der Dienst ist ein eigens entwickeltes Softwaremodul zum Puffern der Daten jedes BAMO Knotens aus dem LoRa Server und dem Weiterleiten dieser Daten an das BAMO Portal. Durch eine individuell anpassbare Schnittstelle ist die Anbindung an ein Monitoringportal flexibel möglich.

Realisiert ist im ersten Schritt nur die in Abbildung 2 mit orangenen Pfeilen dargestellte Anbindung. Ein Zurücksenden von Informationen und Befehlen bis zum BAMO Knoten kann zu einem späteren Zeitpunkt implementiert werden. Auch der in der Abbildung dargestellte BAMO Analytics Dienst, welcher jegliche Akkudaten der BAMO Knoten analysiert und ausgewertet ist bisher noch nicht implementiert, aber vorgesehen.
- **5 - BAMO Daten DB**

Die BAMO Daten DB speichert jegliche von den BAMO Knoten gesendeten Daten, welche über den LoRa Daten Dienst aus dem LoRa Server weitergeleitet werden. Durch die Anpassung der Schnittstellen des LoRa Daten Dienst ist die Datenbankanbindung grundsätzlich flexibel. Innerhalb des Projekts wurde, wie in Kapitel 7.2.5. beschrieben, für das BAMO Portal ThingsBoard ausgewählt, welches bereits eine integrierte Datenbank mit Schnittstellen umfasst. Somit ist in diesem Fall die BAMO Daten DB darin enthalten.
- **6 - Dashboard BAMO Portal**

Das BAMO Portal ist der zentrale Punkt zum Visualisieren aller (Mess-)Daten der BAMO Knoten. Über ein konfigurierbares Dashboard können die Akkudaten über längere Zeit aufgezeichnet wie auch Alarme bei Abweichungen konfiguriert werden. Über eine Benutzerverwaltung können die BAMO Knoten jeweils den berechtigten Nutzern zugeordnet werden.

7.4 Entwicklung des BAMO Systems

In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung des BAMO Systems beschrieben. Unterteilt wird hierbei zwischen dem BAMO Sensormodul, dem sogenannten BAMO Knoten mit Firmware und Kommunikationseinheit und dem BAMO Portal.

7.4.1 BAMO Sensormodul

Das BAMO Sensormodul ist grundsätzlich wie in Abbildung 3 dargestellt aufgebaut. Die Hardware des Knotens umfasst eine Leiterplatte mit Mikrocontroller und einer Kommunikationseinheit, die aus Bluetooth Low Energy (BLE) und LoRa besteht. Über BLE kann die Konfiguration des BAMO Knotens erfolgen. Zudem ist die BLE Einheit auch bereits vorbereitet für die Verwendung von Beacons zur Ortsbestimmung eines BAMO Knotens. Über LoRa erfolgt dann die Kommunikation mit dem LoRa Gateway Modul, über welches die gesamten gemessenen Daten des BAMO Knotens übertragen werden. Auf dem BAMO Sensormodul ist auch der Anschluss für den zu messenden Akku vorhanden, dessen Daten wie Ladezustand, Kapazität etc. über eine integrierte Messelektronik ausgewertet werden und mittels des Mikrocontroller zur Weiterverarbeitung ausgelesen werden.

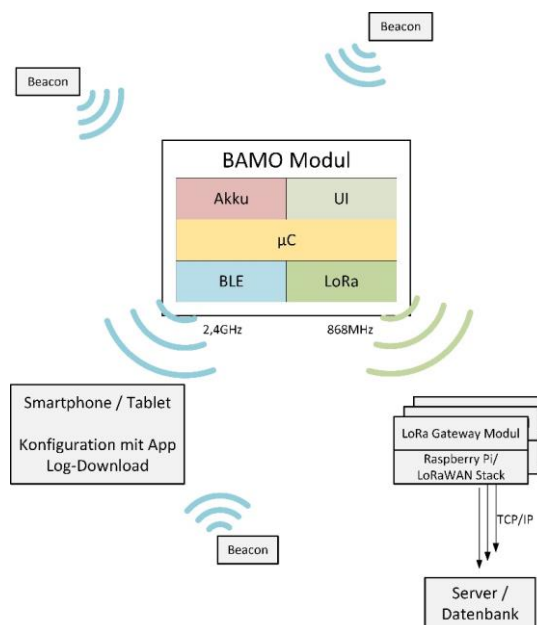


Abbildung 3: Übersicht BAMO Knoten

7.4.1.1 Hardware

Für den BAMO Knoten wurde eine Schaltung entwickelt, die sich leicht in bestehende Akkulösungen integrieren lässt. Augenmerk wurde vor allem auf die Nachrüstbarkeit und die Anwendung an vielen verschiedenen Akkutechnologien gelegt. Dadurch ergibt sich ein breites Spektrum an Eingangsspannungen und maximalen Strömen, die mit dem Modul gemessen werden müssen. Dies hat den Nachteil, dass sich die Genauigkeit gegenüber einer Lösung, die speziell auf ein spezifisches Akkumodell angepasst ist, verringert. Dies wird jedoch durch den Vorteil kompensiert, dass es universell einsetzbar wird.

In folgender Abbildung 4 ist der prinzipielle Aufbau des Sensorknotens dargestellt. Die Spannungsversorgung erfolgt über einen integrierten DC/DC-Spannungswandler. Dieser ist auf die in Kapitel 7.1 definierten Anforderungen ausgelegt. Dies betrifft vor allem den Bereich der Eingangsspannung, wel-

che durch verschiedene Akkuarten und Topologien bestimmt ist und den Stromverbrauch des Knotens selbst. Dadurch kann der Schaltwandler im Bereich seiner maximalen Effizienz betrieben werden.

Im Betrieb werden ständig die Spannung des Akkus und der Stromverbrauch gemessen. Aus diesen Werten lässt sich in der Firmware die geflossene Energie bestimmen und damit auch die charakteristischen Größen des Akkus. Damit die Strommessung sehr genaue Ergebnisse erzielt und auch keine zu große Verlustleistung erzeugt wird, ist diese resistiv und niederimpedant ausgelegt.

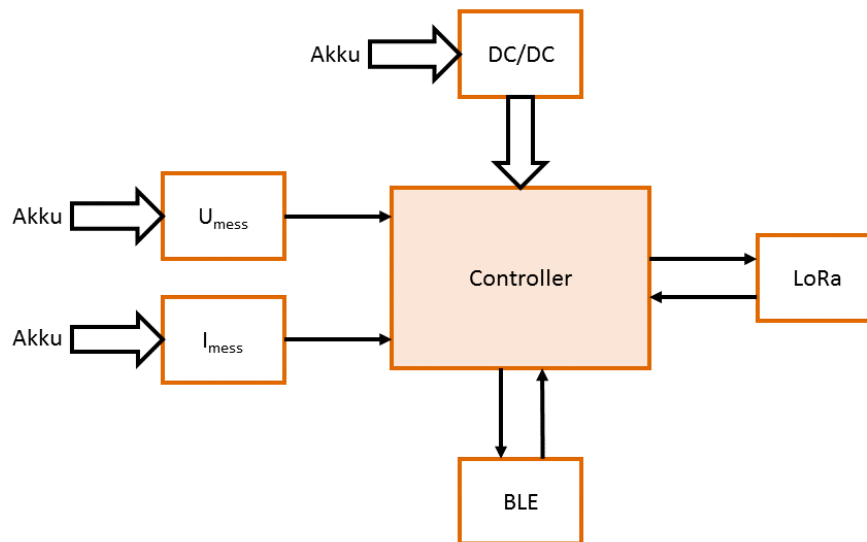


Abbildung 4: BAMO Sensormodul Blockschaltbild

Bei der Auswahl der Komponenten wurde Wert auf ein Low-Power-Design gelegt. Jeder Teil der Schaltung wurde bezüglich seines Energieverbrauches bewertet. Dennoch wurde sich bewusst für ein modulares Design entschieden, wodurch sowohl eine logische als auch räumliche Trennung von Messdatenerfassung, Datenverarbeitung, Datenübertragung und Spannungsversorgung entstand. Dadurch wird ermöglicht, dass die Sensorknoten einfach an ein geändertes Anforderungsprofil angepasst werden können unter Beibehaltung eines Großteils der ursprünglichen Schaltung. Dies wären beispielsweise ein anderer Eingangsspannungsbereich, maximale Ströme oder auch eine andere Funktechnologie.



Abbildung 5: BAMO Sensormodul Elektronik

Ein komplettes BAMO Sensormodul ist in Abbildung 5 zu sehen. Im linken Teil sind die Anschlüsse für den Akku und der Schaltwandler. Mittig sieht man den Controller und die Bluetooth-Antenne. Ganz rechts befindet sich ein Anschluss für eine LoRa-Antenne.

7.4.1.2 Firmware

Auf den Controllern der BAMO Knoten läuft eine selbstentwickelte Firmware. Deren prinzipieller Ablauf ist in Abbildung 6 dargestellt. Beim Starten des Knotens werden zuerst der Controller und die externen Sensoren initialisiert. Anschließend werden die Funkverbindungen konfiguriert und der Sensorknoten meldet sich an einem LoRa-Server an. Nach einer erfolgreichen Start-up-Routine werden zyklisch die Sensoren ausgelesen und die Messwerte anschließend weiterverarbeitet. Damit stehen die Spannung, der Strom, die geflossene Energie und die Temperatur als Eingangsgrößen zur Verfügung.

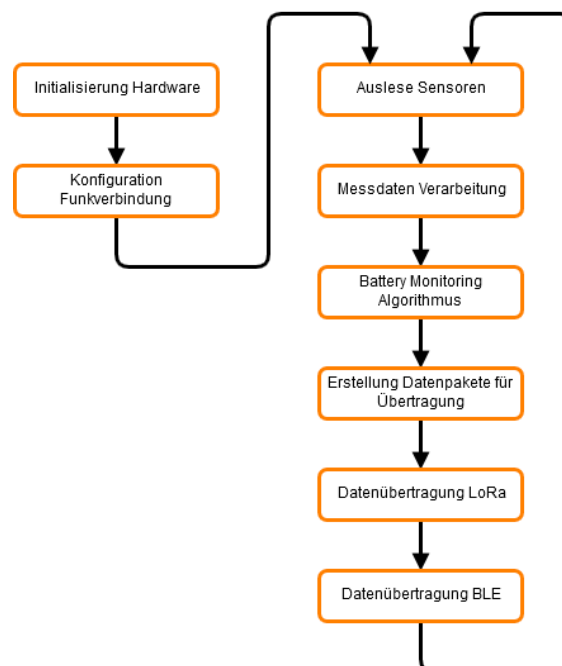


Abbildung 6: Ablaufplan der Firmware

Mittels Batterie-Monitoring-Algorithmus werden die Messdaten ausgewertet. Damit lassen sich unter anderem die verbleibende Kapazität, die Restlaufzeit und der Verschleiß bestimmen. Fallen dabei Kenngrößen aus dem Toleranzbereich können Benachrichtigungen und Warnungen generiert werden, welche über LoRa an das BAMO Webportal übermittelt werden. Diese Auswertung der Messdaten kann in zukünftigen Version noch erweitert werden um eine noch besser Pflege des Akkusystems zu ermöglichen. Hierzu sind Ladeempfehlungen je nach Nutzungsverhalten geplant um die Lebensdauer des Akkus im konkreten Anwendungsfall zu maximieren.

Vor der Datenübertragung werden passende Datenpakete erstellt. In Tabelle 3 sind einige der hierfür definierten Datenformate aufgeführt. Diese müssen sowohl auf BAMO Knoten als auch BAMO Server-Seite identisch sein, damit die Daten jeweils richtig interpretiert werden.

Tabelle 3 – Beispiele zur Definition der Datenformate

| Bezeichnung | Datentyp | Einheit | Intervall Kommunikation [min] |
|--------------|----------|---------|-------------------------------|
| Akkuspannung | uint16 | mV | 15 |
| Strom | uint32 | mA | 15 |
| Ladebetrieb | bool | | bei Änderung |

7.4.1.3 Kommunikation

Die BAMO Knoten können über zwei Funktechnologien mit der Außenwelt kommunizieren. Für den Nahbereich ist Bluetooth integriert und für den Fernbereich LoRa. Damit lassen sich die Stärken beider Übertragungsarten kombinieren.

Bei der Erstinbetriebnahme und im Servicefall müssen viele Daten zwischen dem BAMO Knoten und dem Mobilgerät eines Servicetechnikers ausgetauscht werden. Dabei müssen nur kurze Entfernungen überbrückt werden aber eine hohe Datenrate um ein angenehmes Arbeiten zu ermöglichen. BLE ist dafür mit seiner Point-to-point Technologie ideal geeignet. Zusätzlich lässt sich diese Technologie unter Zuhilfenahme von Beacons zur Positionsbestimmung nutzen.

Im Normalbetrieb werden weit weniger Daten übertragen und diese aufgrund der zeitlichen Trägheit eines Akkusystems in deutlich größeren Abständen. Somit lassen sich die Statusdaten per LoRa-Netzwerk verschicken wobei Empfängerseitig ein einzelner Gateway sehr große Empfangs-, und Sendebereiche abdecken kann. Bei der Inbetriebnahme werden über Bluetooth die Schlüssel zwischen BAMO Knoten und Gateway ausgetauscht, damit die LoRa-Kommunikation verschlüsselt erfolgen kann und die Daten nicht von Dritten gelesen werden können.

7.4.2 BAMO Webportal

Die Auswahl und Entscheidung des geeigneten Webportals und der erforderlichen LoRa Server Technologie ist bereits in Kapitel 7.2.5 beschrieben. Bei der Bewertung der geeigneten Technologie für LoRa wird das LoRa Server Project verwendet dessen Struktur in Abbildung 7 dargestellt ist. Dieses umfasst bereits die erforderliche Software zur Installation eines LoRa Gateways, welches auf Basis eines Raspberry Pi mit LoRa WAN Modul umgesetzt wird. Die Kommunikation des LoRa Gateways erfolgt per MQTT an den LoRa Server. Der LoRa Server verwaltet alle Anfragen der an das LoRa Gateway angebotenen BAMO Knoten. Diese können per Webinterface mit Zugriff auf den LoRa Server verwaltet werden.

Um die Daten der BAMO Knoten per LoRa an den LoRa Server zu übertragen musste im ersten Schritt ein Protokoll mit genauem Datenformat und Datentypen definiert werden. Damit können dann die an den LoRa Server übertragenen Daten, definiert über eine Schnittstelle am MQTT Broker, abgefragt

werden. Hierzu wurde ein Softwaremodul entwickelt, welche die Daten puffert und in ein kompatibles Format zur Weiterleitung an ein Monitoringportal zur Datenvisualisierung wandelt.

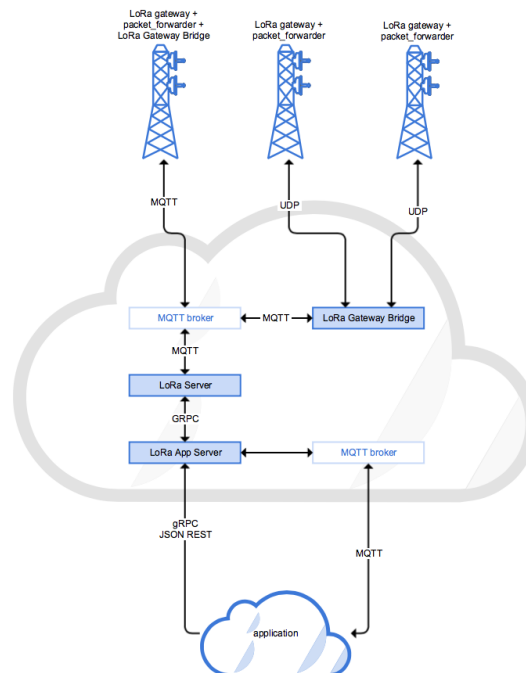


Abbildung 7: Systemstruktur LoRa Server Project [1]

Zur Definition der Funktionen innerhalb des Monitoringportals zur Visualisierung der gesamten Daten der BAMO Knoten wurden auf Basis der Anforderungen Mockups zur gewünschten Oberfläche des Webportals erstellt. Diese umfassen einerseits die gesamte Verwaltung der BAMO Knoten mit zusätzlicher Alarmingfunktion und Benutzerverwaltung mit Vergabe von Berechtigungen. Eine Mockup-Ansicht der Knotenübersicht mit Visualisierung ist in Abbildung 8 veranschaulicht.

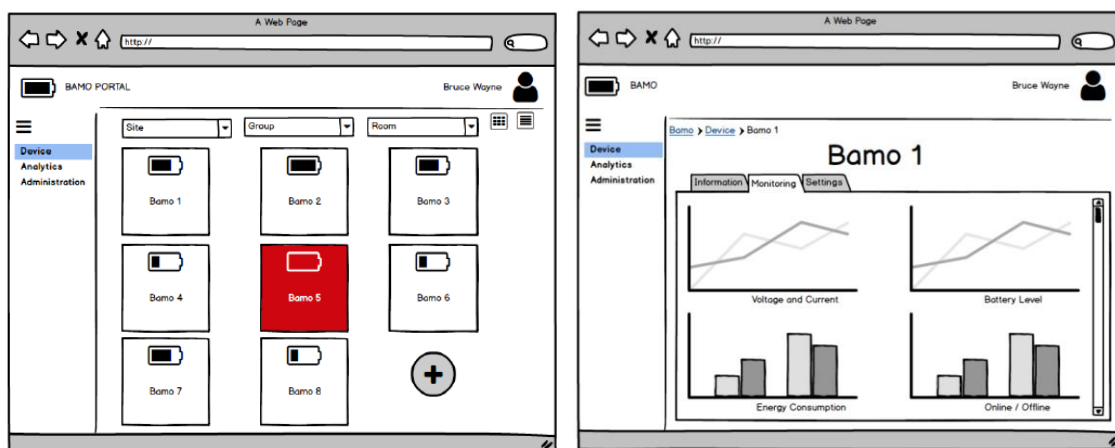


Abbildung 8: Beispiel Mockups zum BAMO Portal

In Kapitel 7.2.5 ist bereits die Entscheidungsfindung der zugrundeliegenden Monitoringsoftware zur Visualisierung der Daten der BAMO Knoten aufgeführt. Das IoT Portal ThingsBoard bietet die Möglichkeit jegliche Datenpunkte, welche über den LoRa Server vom BAMO Knoten übermittelt werden

zu Speichern und über verschiedenste vorgefertigte Module wie Bargraph, X,Y-Diagramm etc. zu visualisieren. Zudem ist eine Benutzer- und Mandantenverwaltung integriert, welche die Zuteilung der Berechtigungen der zu visualisierenden Daten pro BAMO Knoten ermöglicht.

In einem weiteren Schritt zur Vorbereitung einer ersten Demo-Umgebung erfolgte die Anpassung des ThingsBoard Portals an die Farbgebung des Unternehmens Systemc & Solutions. Damit wurde auch die Vorbereitung für ein erstes Showcase getroffen.

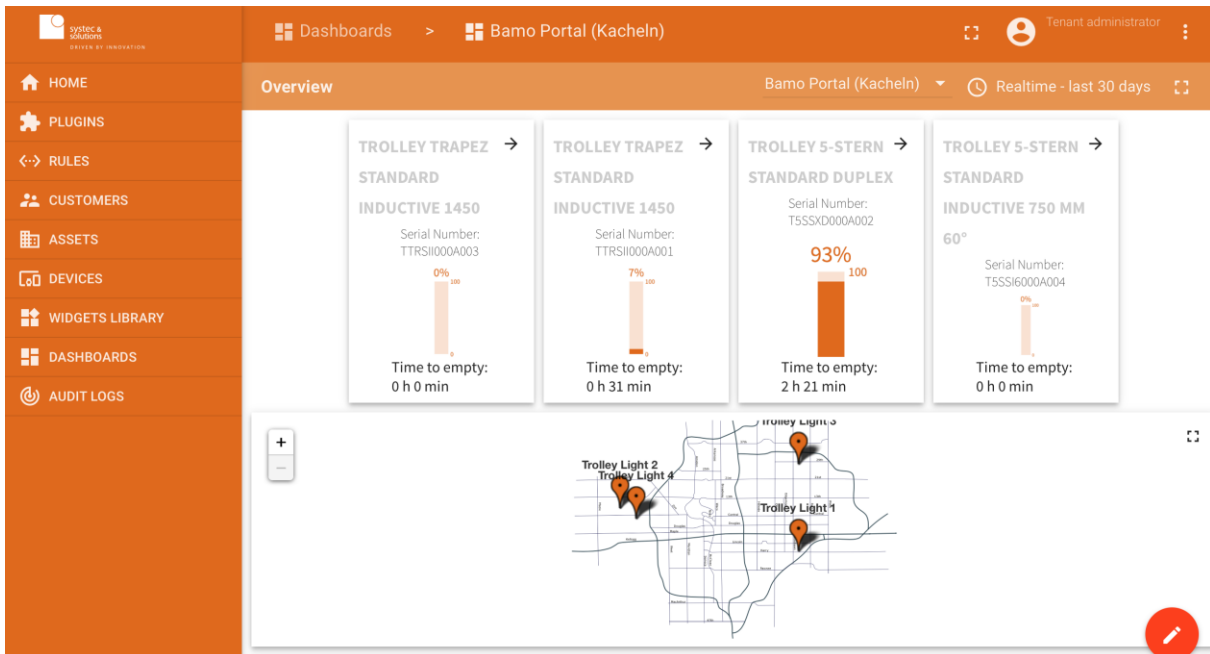


Abbildung 9: BAMO Portal Dashboard

7.5 Feldversuche

Erste Feldversuche des BAMO Gesamtsystems erfolgten in einer Laborumgebung mit angeschlossenem AGM Akku an drei BAMO Knoten und einem LoRa Gateway. Im zweiten Schritt wurde ein zusätzliches LoRa Gateway integriert, um auch diesen Betriebsfall zu testen. In einem anschließend finalen Feldversuch innerhalb des Projekts wurden zwei TROLLEY Systeme mit integriertem AGM Akku mit jeweils einem BAMO Knoten ausgerüstet. Zusätzlich wurde eine zweite Demoinstanz des gesamten LoRa Server auf einen neuen Server installiert um damit auch die Neuinstallation eines BAMO Gesamtsystems zu erproben.

Die Feldversuche zeigten, dass das BAMO System grundsätzlich in seiner Grundfunktion funktioniert. Messdaten wie der Akkustand, die Akkukapazität und weitere definierte Parameter können übertragen werden. Jedoch zeigten die ersten Feldversuche auch einige Punkte auf, welche für die weitere Entwicklung erforderlich sind. Genaue Details sind in Kapitel 7.6 beschrieben.

7.6 Ergebnis und weiteres Vorgehen

Grundlegend konnte wie im Projektantrag geplant ein sehr energieeffizientes Batterie-Monitoring-System als Prototyp zur Visualisierung von Akkuparameter über ein Webportal mit dem Ziel die Betriebsdauer von Akkus grundsätzlich zu verlängern umgesetzt werden. Die Feldversuche zeigten die grundsätzliche Funktion zur Datenvisualisierung der Messdaten wie Ladezustand, Kapazität, Laufzeit etc. um dadurch zu Problemen im Betrieb eines Akkus frühzeitig zu informieren und Betriebsausfälle

vorzubeugen. Durch die Verwendung vorhandener Open Source Software wie den LoRa Server und ThingsBoard konnte die Entwicklungszeit für die Datenkommunikation, Datenverwaltung und die Visualisierung deutlich verkürzt werden. Um die Funktionen der einzelnen Softwarekomponenten untereinander herzustellen, musste eine Implementierungsentwicklung für die Kombination der einzelnen Softwaremodule umgesetzt werden.

Die Hardware für die BAMO Knoten musste aufgrund der Anforderungen neu entwickelt werden. Hierzu war erforderlich die Firmware für den ausgewählten Mikrocontroller grundlegend zu entwickeln, damit einerseits die Akkudaten ausgelesen werden können, die Konfiguration per Bluetooth erfolgen kann und auch die Daten drahtlos per LoRa übermittelt werden können.

Im Gesamten konnte das geplante BAMO System soweit realisiert werden, dass grundlegend die Erfassung der relevanten Messdaten über den BAMO Knoten von einem AGM Akku ausgelesen und bis hin zum Portal mit Visualisierung übertragen werden können. Durch das Festlegen von Grenzwerten wie beispielsweise eine Unterschreitung des Akkuladestandes, können Alarmmeldungen per E-Mail ausgelöst werden, die eine Tiefentladung des Akkus verhindern und allgemein damit dessen Lebenszeit voraussichtlich auf insgesamt mindestens vier Jahre verlängern können.

Die ursprüngliche Zielsetzung zusätzliche Akkutypen wie Lilon-Akkus und Weitere auch auswerten und auslesen zu können, konnte aufgrund des begrenzten Projektzeitraumes und den damit verbunden umfangreicheren Test- und Implementierungszeiten nicht umgesetzt werden. Auch die Komplexität des eigens Entwickelten BAMO Knotens mit den verbundenen Hürden war hierbei ein entscheidender Faktor. Die Datenvisualisierung umfasst momentan die Erfassung der Basisdaten eines AGM Akkus über den BAMO-Knoten am Akku und deren Visualisierung über das Monitoringportal. Dies stellt eine gute Grundlage dar, ist jedoch für die gesamte Lösung einer intelligenten und lernenden Plattform zur Verlängerung der Lebenszeit von Akkus mit weiterem Entwicklungsaufwand verbunden.

Durch erste durchgeführte Feldtests konnte das entwickelte BAMO Gesamtsystem als Prototyp erprobt und bewertet werden. Hierbei ergab die Bewertung, dass für die Weiterentwicklung und zur Vorbereitung eines ersten Pilotprojekts zur Felderprobung im größeren Umfang weitere Entwicklungsleistungen erforderlich sind. Dies umfasst einerseits die Verbesserung der Messgenauigkeit der Akkudaten des BAMO Knotens wie Strom und Spannung wie auch die gesamte Betriebsstabilität der Firmware insbesondere hinsichtlich der Bluetooth Implementierung. Die LoRa Server Komponente muss für ein Pilotprojekt zudem noch hinsichtlich der durchgängigen Implementierung einer Verschlüsselung bewertet werden. Auch das LoRa Gateway muss dazu von der Raspberry PI Plattform zu einem zertifizierten und zugelassenen System angepasst werden.

Das Projekt zeigte ein sehr großes Potential durch das Schaffen einer Entwicklungsbasis auf die mittels eines möglichen Folgeprojektes mit den gewonnenen umfangreichen Erfahrungen aufgebaut werden kann. Dabei sollte dann die Zielsetzung insbesondere die Ressourcenschonung beim Einsatz unterschiedlicher Akkutypen sein. Aufgrund der erlangten Erfahrungen innerhalb des Projekts und der noch offenen Punkte, ist jedoch das wirtschaftliche Risiko zur weiteren Projektdurchführung ein wichtiger zu betrachtender Faktor. Das voraussichtlich resultierende Potential bei der weiteren Entwicklung des BAMO Systems, mit möglichen weiteren Anwendungsgebieten ist jedoch in Bezug auf die möglichen Umweltnutzen, aus Sicht der Projektpartner als sehr hoch zu bewerten. Der Einsatz einer effizienten und vielseitigen Monitoring Lösung, in Anbetracht des effizienten Nutzens von verschiedensten Akkutechnologien kann daher einen großen Mehrwert für nachhaltige Energieversorgungskonzepte bieten.

Das weitere Vorgehen ist deshalb wie folgt geplant:

- Durchführung weiterer interner Langzeittest mit dem bis dato entwickelten BAMO System

- Bewertung eines Folgeprojekts, insbesondere mit dem Ziel der Ressourcenschonung und Effizienzsteigerung der überwachten Akkus
- Weiterentwicklung des BAMO Systems, insbesondere hinsichtlich Messgenauigkeit und Stabilität der Gesamtanwendung
- Durchführung erster Pilotprojekte in realem Umfeld mit dem Sammeln von Betriebserfahrungen
- Ggf. Optimierung der gesamten LoRa Funkkommunikation durch Betriebserfahrung im realen Umfeld
- Anpassung der BAMO Knoten für weitere Akkutypen
- Implementierung einer Ortungsfunktion beispielsweise mit Beacons
- Umsetzung einer lokalen Anzeigelösung mittels eines Displays direkt am BAMO Knoten
- Implementierung eines lernfähigen Auswertalgorithmus in Zusammenarbeit mit Experten zur umfangreichen Auswertung des Gesundheitszustandes der überwachten Akkus mittels der BAMO Knoten
- Bewertung weiterer Einsatzfelder der BAMO Knoten für verschiedenste Akkulösungen

Weitere Detailschritte zum weiteren Vorgehen ergeben sich nach genauerer Definition eines möglichen Folgeprojekts.

7.6.1 Umweltpolitische Relevanz

Durch das Projektergebnis konnte aufgezeigt werden, dass das BAMO System eine grundlegende Voraussetzung schafft, die Betriebsdauer von Akkus, welche in beispielsweise TROLLEY Systemen der Systec & Solutions verbaut werden, zu verlängern. Aufgrund des begrenzten Projektzeitraums stehen genaue Daten darüber noch aus, allerdings kann bereits schon jetzt die Abschätzung getroffen werden, dass bei rechtzeitigen Hinweisen zum Aufladen eines AGM Akkus der Verwendungszeitraum des Akkus bereits um mehr als vier Jahre verlängert werden kann.

Die weitaus größere umweltpolitische Relevanz würde sich nach heutiger Bewertung durch die Weiterentwicklung des BAMO Portals hinsichtlich eines intelligenten Algorithmus nochmals um ein vielfaches verbessern. Dadurch sind noch längere Betriebszeiten möglich und der Gesundheitszustand eines Akkus kann detailliert ausgewertet und die Betreiber der TROLLEY Systeme können jederzeit darüber informiert werden. Durch eine proaktive Anpassung der Verwendung bereits nahezu defekter Akkus wird zudem einem Betrieb außerhalb der Spezifikation eines Akkus vorgebeugt. Die Gefahr des Austretens von beispielsweise Säure eines Akkus bei fehlerhafter Aufladung wie auch die Überhitzung kann damit deutlich minimiert werden, da der Betreiber frühzeitig und rechtzeitig über potentielle oder bereits eingetretene Fehler informiert wird.

7.6.2 Verwertung der Ergebnisse

Der erstellte Prototyp des BAMO Portals bildet eine sehr gute Grundlage um darauf aufbauend eine Gesamtlösung zur Betriebseffizienz von IT-Systemen und TROLLEY Systemen der Systec & Solutions mit integrierten Akkus schaffen zu können. Dies ist ein Mehrwert der in dieser Art von Systemen noch nicht am Markt vorhanden ist und Systec & Solutions ihren Kunden als Mehrwert bieten kann. Innerhalb erster Kontakte mit potentiellen Anwendern ist die Technologielösung auf grundsätzlich großes Interesse gestoßen. Für die Umsetzung eines ersten Pilotprojekts sind jedoch noch Weiterentwicklungen erforderlich, die in einem abschätzbaren Rahmen umgesetzt werden können und ein Folgeprojekt erforderlich machen.

Für den zweiten Entwicklungsschritt, um auch insbesondere die umweltpolitische Relevanz des Projekts weiter zu verstärken, ist die Unterstützung weiterer Akkutypen und Akkumodellen erforderlich.

Zudem sollte das BAMO Gesamtsystem mit einem intelligenten Auswertalgorithmus erweitert werden was eine zusätzliche Effizienzsteigerung der überwachten Akkus mit dem BAMO System erreichen würde.

Gesammelte Laufzeitdaten und Kenndaten verschiedener Akkutypen können auch für weitere Forschung im Bereich des Einsatzes und der Verwendung von Akkusystemen und Techniken zur Verwendung kommen.

8 Fazit

Innerhalb des Projekts BAMO konnte ein Prototyp realisiert werden, welcher ein intelligentes und cloudbasiertes Batterie-Monitoring für mobile akkubetriebene IT-Systeme grundlegend ermöglicht. Dabei wurde aufgezeigt, dass mit der BAMO Systemausrüstung der batteriebetriebenen IT-Systeme ein effizienterer und ressourcenschonender Betrieb möglich ist, da Statusinformationen wie Alarmmeldungen zum Akkuladezustand umgehend an den Betreiber weitergeleitet werden können.

Der innerhalb des Projektes realisierte Prototyp schafft eine sehr gute Grundlage zur Weiterentwicklung. Durch die gewonnenen Erfahrungen innerhalb des BAMO Projekts können die Ziele für eine mögliche Weiterentwicklung nun deutlich besser abgeschätzt werden. Insbesondere zeigt das erreichte Ergebnis auf, dass das BAMO System auch großes Potential zu weiteren Einsatzgebieten im IoT Umfeld mit anderen Akkusystemen aufweist. Zur Weiterentwicklung des BAMO Systems ist die Durchführung eines Folgeprojekts erforderlich, welches die zuvor genannten Potentiale und Vorteile schaffen soll.

9 Literaturverzeichnis

[1] - <https://www.loraserver.io>

10 Anhänge

10.1 Information zu LoRa WAN

Im Folgenden eine kurze Übersicht der technischen Informationen zu LoRa WAN

- Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)
- Datenübertragung zwischen 292 Bit/s und 50 Kilobit/s
- Netz-Architektur ist sternförmig
- Frequenzband von 863 bis 870 MHz (SRD-Band Europa), 902 bis 928 MHz (ISM-Band Region 2) Nordamerika
- Reichweiten von 2 km (Stadtgebiet) über 15 km (Vororte) bis zu 40 km (ländliche Gebiete)
- Je nach Anwendungsfall Batterielebensdauer von 2 bis 15 Jahren
- Stromverbrauch von Endgeräten beträgt rund 10 mA und 100 nA im Ruhemodus