

# Entwicklung eines intelligenten Logistik- und Bestandsmanagementsystems auf Basis von Internet der Dinge-Technologien

## Development of an intelligent logistics and inventory management system based on Internet of Things technologies

Fuyin Wei\*

Fei Xiang\*

Sebastian Verhoeven\*\*

Bernd Noche\*

\*Department of Transport Systems and Logistics, Faculty of Engineering, Division of Mechanical and Process Engineering, University of Duisburg-Essen

\*\* Vice President STOK Europe (Healthcare), Arvato Supply Chain Solutions

**D**urch die Entwicklung eines neuen, intelligenten Ladungsträgersystems im Kontext von Industrie 4.0 ist eine automatische, funkbasierte Überwachung des aktuellen Warenbestands jedes einzelnen Ladungsträgers möglich. In diesem Papier wird das entwickelte Bestandsüberwachungssystem in den Kontext des Internet der Dinge eingeordnet.

[Schlüsselwörter: Internet der Dinge, Sensornetzwerk, Industrie 4.0, Intelligente Ladungsträger, Bestandsmanagement, Echtzeitfähigkeit, RFID, LoRa]

**T**he development of a new, intelligent load carrier system in the context of Industry 4.0 enables an automatic, radio-based monitoring of the current inventory of each individual load carrier. In this paper, the developed stock monitoring system is integrated into the context of the Internet of Things.

[Keywords: Internet of Things, sensor network, industry 4.0, intelligent load carriers, inventory management, real-time capability, RFID, LoRa]

### 1 EINLEITUNG

Die Logistik hat sich in den letzten 30 Jahren rasant entwickelt, und die nachgefragten Logistikdienstleistungen werden immer komplexer. Dies führt zu einer Flexibilisierung der gesamten Logistikkette, wodurch die Kosten gesenkt und die Qualität verbessert werden [Rot13]. Echtzeitfähigkeit und Flexibilität spielen in der Logistik eine immer wichtigere Rolle, insbesondere bei Lieferungen von zeitkritischen Produkten, Notfall- oder Same-Day-Lieferungen. Hersteller haben oftmals nicht die komplette Transparenz über den Produktverbrauch und somit kein vollständiges Wissen über den aktuellen Bestand und Bedarf. Diese Unsicherheit führt schnell zu Über- oder Fehlbeständen. Damit besteht die Gefahr einer Wertminderung durch Verlust oder Verschlechterung, Umsatzverluste oder eine unangemessen hohe Kapitalbindung in Konsignationslagern. Eine Betrachtung des Verhältnisses von Echtzeitfähigkeit und Leistungsverfügbarkeit zeigt die nahe Verwandtschaft beider Begriffe auf. Daraufhin werden die gestiegenen Anforderungen dezentraler Logistiksysteme anhand des Konzeptes des intelligenten Ladungsträgers untersucht und insbesondere die daraus resultierende Komplexitätssteigerung durch den Einsatz drahtloser Funkübertragung mit einem begrenzten Kommunikationsmedium und begrenzter Energieversorgung aufgezeigt.

## 1.1 AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMBESCHREIBUNG

Getrieben vom hohen Kostendruck in den Gesundheitssystemen und dem gleichzeitig hohen Bedarf an die optimale Verfügbarkeit medizintechnischer Produkte hat sich in den Krankenhäusern und Medizinzentren vieler Länder ein aus der Automobilindustrie bekanntes System etabliert – das Konsignationslager. Durch diesen Ansatz wird gewährleistet, dass z.B. Implantate wie Herzschrittmacher immer und in allen Größen vor Ort verfügbar sind, die Gesundheitseinrichtungen diese jedoch erst im Moment des medizinischen Eingriffs vom Hersteller kaufen. Damit wird Kapitalbindung für die Einrichtungen minimiert und auch das Risiko von Abschreibungen durch Verlust und Verfall liegt bei den Medizintechnikunternehmen.

Was auf den ersten Blick nach einem guten Ansatz klingt, birgt im Detail einige Herausforderungen. So liegt die Aufgabe des Bestandsmanagements nun irgendwo zwischen dem pflegenden Personal und dem Außendienst des Herstellers, wobei die erste Gruppe sich um die Behandlung von Patienten und die zweite um den Vertrieb und die Beratung kümmern soll. Aktivitäten wie Reichweitenanalysen, die Berechnung optimaler Losgrößen und die Bestimmung von Nachschubzeitpunkten liegen sicher nicht in deren Aufgabenbereich, sondern in der Supply Chain-Planung.

Somit geschieht es regelmäßig, dass Implantate für hektische OPs entnommen und dann entweder nicht richtig zurückgelegt oder beim Hersteller nicht abgemeldet werden, was im Normalfall die Abrechnung und den Nachschub zur Folge haben sollte, in diesem Fall jedoch nicht stattfindet. Hieraus folgen unter anderem die Risiken, dass entweder Produkte nicht verfügbar sind oder versehentlich abgelaufene Implantate genutzt werden.

Diesem Problem wird häufig und vielerorts noch mit Zettel und Stift entgegengetreten. In anderen Fällen werden Instrumente als vor Ort verfügbar angenommen, wenn kurz zuvor ein Eingriff stattfand, für den ein gewisser Typ zwingend erforderlich war. Dies sagt jedoch nichts über die Anzahl der verfügbaren Instrumente aus.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese Situation sicher nicht zur Schaffung von Transparenz, der schnellen Abrechnung und zur Vermeidung unnötiger Komplexität im System beiträgt.

## 1.2 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Die zuvor beschriebene Situation führt dazu, dass die Medizintechnikhersteller jährlich hohe Abschreibungen im zweistelligen Prozentbereich für verloren gegangene oder abgelaufene Produkte vornehmen müssen. Durch nicht vorhandene Produkte können häufig auch Umsätze nicht

realisiert werden, da Produkte anderer Hersteller verwendet werden. Hierunter leidet zusätzlich die Qualität der Nachverfolgbarkeit.

Mit dem Ansinnen, diese Situation zu verbessern und die Pflegeeinrichtungen und Hersteller zu unterstützen, treten Anbieter von Dienstleistungen rund um das „Field Inventory Management“ auf den Plan.

Diese arbeiten entweder mit den Herstellern zusammen und bieten die Services regional, landesweit oder international für bestimmte Produktgruppen an. Oder sie arbeiten mit einzelnen Pflegeeinrichtungen zusammen und unterstützen beim Management des kompletten Sortiments. Eine dritte, vermehrt auftretende Variante besteht darin, dass Krankenhäuser die eigene Logistik optimieren und performant aufstellen. Hier stellt sich jedoch zum einen die Frage der Kernkompetenzen und zum anderen trifft dies in den meisten Fällen eher auf sehr große Häuser, Gruppen und Einkaufsgemeinschaften zu.

Im Folgenden wird vornehmlich auf den ersten Ansatz eingegangen, die Lösungen können jedoch ebenso für die beiden anderen Ansätze angewandt werden.

## 2 STAND UND TRENDS DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK

### 2.1 ECHTZEIT-ÜBERWACHUNGSSYSTEM

Aufgrund der Entwicklung der Internet der Dinge-Technologien und der Zunahme der Komplexität bei der logistischen Abwicklung, wird in den letzten Jahren die Anforderung der Echtzeitüberwachung entlang der Lieferketten an viele logistische Systeme gestellt. Diese Systeme sind mit Überwachungsfunktionalität eingebettet und führen zu besseren Kontrollergebnissen durch die Verwendung der ermittelten Informationen. Es gibt vielfältige Überwachungssysteme bezüglich unterschiedlicher Anwendungsdomänen und Überwachungsziele wie z.B. Lager- oder Laderaumüberwachung sowie Routen- oder Güterüberwachung.

Überwachung bezieht sich hauptsächlich auf die Stückzahlen, Positionen, evtl. Warenverfolgung. Typische Technologien, die im logistischen Umfeld verbreitet genutzt werden sind AutoID-Systeme und drahtlose Sensornetzwerke [Rot13].

Auto-Identifikationssysteme (AutoID) dienen dazu, Gegenstände anhand definierter Merkmale wie einer Zahlenfolge, zu erkennen. Anhand der diversen AutoID-Systeme können innerhalb der Logistik zusätzlich zur Identifikation eine Reihe weiterer Informationen generiert werden, ohne die heutige Materialflussbewegungen undenkbar wären [AIKTF16].

Der Barcode ist die am weitesten verbreitete sowie kostengünstigste Form der Identifikationssysteme in der Logistik [DSL15]. Die Heterogenität der Barcodetypen resultiert aus den unterschiedlichen Einsatzgebieten, Benutzern und Herstellungsmöglichkeiten. Dabei wird grundsätzlich zwischen eindimensionalen, also linear angeordneten Barcodes, und zweidimensionalen Barcodes unterschieden. Bei der optischen Codierung handelt es sich um parallel angeordnete helle und dunkle Striche in unterschiedlicher Dicke, die mithilfe von Barcodescannern oder Kameras ausgelesen werden können. Bei den zweidimensionalen Codes werden Informationen sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Richtung gespeichert, wodurch mehr Zeichen abgebildet werden können [Koc12]. Mithilfe einer durchgehenden Barcodekennzeichnung kann eine Verfolgung von Sendungen durchgeführt werden [CHK13]. So befähigt der Barcode das Tracking und Tracing innerhalb der Logistikkette. Das Scannen der Barcodes an den einzelnen Stationen der Logistikkette erlaubt dem Kunden die Sendungsverfolgung. Gleichzeitig werden Schnittstellenkontrollen durchgeführt und die Übergabe von Sendungen dokumentiert [KKK12].

Ein weiteres logistikrelevantes AutoID-System ist die Radio-Frequenz-Identifikation (RFID), die in der Logistik schon verbreitet eingesetzt wird. Sie kann den Bereich der Identifikation abdecken und die Rückverfolgbarkeit in Transportlogistikketten unterstützen [VCBR11]. Hierbei werden getaggte Objekte identifiziert. Die Informationen werden über Radiowellen aus Mikrochips gelesen, die sich an der Ladeinheit, der Kartongabe oder dem Artikel befinden. Das System besteht aus drei Basiskomponenten: Transponder, RFID-Lesegerät und Anwendungssystem.

Vorteile des RFID-Systems gegenüber optischen Identifikationssystemen sind die gleichzeitige Lesbarkeit mehrerer Transponder. Die Transponder sind robust und ohne Sichtkontakt auslesbar, somit können sie geschützt im Ladungsträger positioniert werden. Die Speicherkapazitäten der RFID-Tags sind größer als die der meisten Barcodes. Im Prozessverlauf können auf diese Weise Informationen auf den Tags modifiziert werden [RBKS13]. Weiterhin besteht eine höhere Informationssicherheit gegenüber dem Barcode, da die Informationen nicht unmittelbar sichtbar sind und das Manipulieren von Daten erschwert wird [HPP07].

Im Projekt IMOTRIS [VCBR11] wird ein Tiefenbildsensor und ein Funk-/Ortungsmodul zur Laderaumüberwachung eingesetzt. Der Sensor ermöglicht eine Rekonstruktion einer 3D-Szene. Nach der Bildanalyse werden die wichtigen Daten wie freie Ladekapazität mit dem Satelliten-Ortungsmodul (GPS)-/Funkmodul (GSM) über das Mobilfunknetz an einem Server übertragen.

Als eine zukünftige Entwicklungsrichtung schlägt Falter et al. die Augmented-Reality (AR)-Technologie für die

Layout-Applikation (bspw. Arbeitsplätze) vor, das sogenannte Live Szenarios-Verfahren [FHBHB18]. Dies ist ein Einsatz neuer intelligenter Methoden zur Echtzeitüberwachung.

## 2.2 BESTANDMANAGEMENT

Um die zuvor beschriebenen Herausforderungen in Pflegeeinrichtungen zu lösen bzw. zu verbessern, kommen, unterstützt durch Digitalisierung, zwei Ansätze in Betracht.

Zum einen können prozessuale Verbesserungen auf dem Feld optimierter und automatisierter, aber vor allem gut dokumentierter, Nachschubprozesse vorgenommen werden. Hier können Hersteller, Pflegeeinrichtungen und Dienstleister im Rahmen von Vendor Managed Inventory (VMI)-Services gemeinsam Sollbestände für Produkte festlegen, die der Dienstleister durch regelmäßige Vororttermine oder anderweitige Kommunikation managed und sich um Nachschub sowie Abrechnung kümmert.

Zum anderen können Verbesserungen im Bestandsmanagement durch Technologien wie RFID, Bluetooth oder optische Erkennungssysteme erreicht werden, die bei der Echtzeitmessung von Verbräuchen unterstützen und dem Dienstleister noch weitläufigere Möglichkeiten bei der Disposition und Organisation des Prozesses ermöglichen.

Zu diesem Zweck können zum Beispiel im Bereich des Shortterms Consignments die in der Orthopädie bekannten Loaner Kits bzw. die in der Kardiologie genutzten Implant Kits mit RFID-Sensorik ausgestattet werden. Diese Kits enthalten alle Implantate und weiteres Zubehör, das für bestimmte Eingriffe benötigt wird. Die Kits werden für einen Eingriff in den OP geliefert und schnellstmöglich nach der Prozedur wieder vom Dienstleister abgeholt. Im Nachgang werden die entnommenen Produkte zur Abrechnung gebracht und die Kits für den nächsten Eingriff aufgefüllt.



Abbildung 1. Beispiel eines Implant Kits (Quelle: STOK / Arvato)

Beide Ansätze, sowohl der VMI als auch der Kits- Service, entlasten das Pflegepersonal enorm, da nur noch eine Entnahme aus einem VMI-Lager oder die Bestellung eines Kits vorgenommen werden muss. Eine Befragung unter Krankenhäusern zeigt, dass diese Dienstleistungen als sehr positiv bewertet werden.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick der Zufriedenheit der Krankenhäuser mit erbrachten VMI-Dienstleistungen.

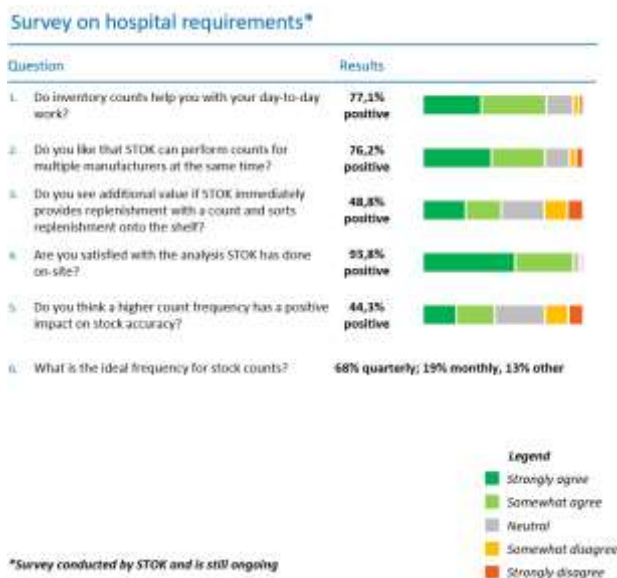


Abbildung 2. Befragung von Krankenhäusern zu VMI (in DE, Quelle: STOK / Arvato)

Klar zu erkennen ist in diesem Fall die Zufriedenheit der Häuser mit der Performance im Allgemeinen und der Analyse des Dienstleisters in Bezug auf Differenzen der Bestände. Oft erkennen die Einrichtungen große Vorteile, die entstehen, wenn ein Dienstleister für mehrere Hersteller zur gleichen Zeit Dienstleistungen erbringt, da für das Personal eine Zeitersparnis entsteht. Wie bereits eingangs erwähnt, bewerten 95,9 % den VMI- Service als hilfreich.

Die folgende Abbildung zeigt die Zufriedenheit der Pflegeeinrichtungen mit den Kit-Services anhand eines Beispiels.

### Hospital Feedback

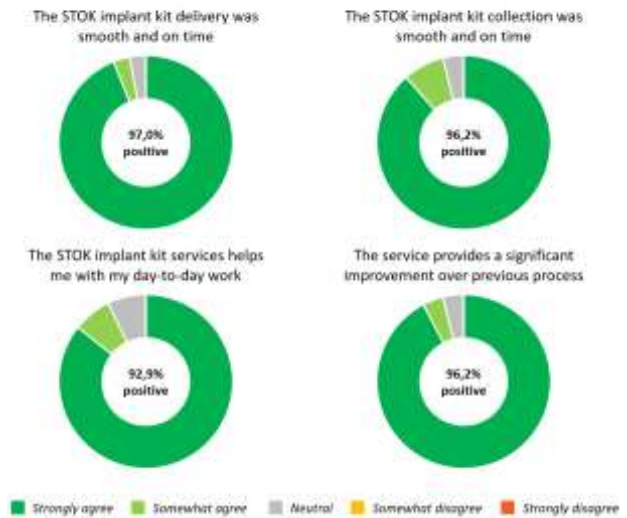


Abbildung 3. Befragung von Krankenhäusern zu Kits (in DE, Quelle: STOK / Arvato)

Insbesondere ist hier herauszustellen, dass alle Einrichtungen im Service eine Verbesserung der vorherigen Situation sehen. In Bezug auf den Kit-Service liegt jedoch ein Nachteil im Transportaufwand, da die Kits im Grunde genommen für eine Implantation angeliefert und wieder abgeholt werden, wodurch mögliche Synergieeffekte nicht genutzt werden.

Um diese erzielen zu können, ist die Ausstattung der Kits mit einer Erfassungstechnologie unumgänglich. Mittels einer solchen Ausstattung und der Echtzeitverbindung des Kits mit dem Dienstleister via Cloud kann dieser zu jederzeit feststellen, ob Kits noch weitere Eingriffe unterstützen können oder, ob die Ergänzung einzelner Komponenten bzw. der Austausch des ganzen Kits notwendig ist.

Durch diesen Ansatz können auf zwei Ebenen Synergien erreicht werden. Zum einen durch die Vermeidung unnötiger Transporte, wenn Kits noch Operationen unterstützen können, andererseits dadurch, dass der Dienstleister die Auffüllung bzw. den Austausch ggf. mit anderen Fahrten in die Pflegeeinrichtung kombinieren kann. Deshalb brauchen wir ein intelligentes Logistik- und Bestandsmanagementsystem, um den Lagerstatus der Kits stündlich durch Ferndatenabfrage zu aktualisieren.

### 2.3 INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSSTRUKTUR

Gemäß den Projektanforderungen handelt es sich um ein typisches Datenerfassungs- und drahtloses Kommunikationsszenario mit großer Reichweite. Die IoT-Geräte, die auf der traditionellen mobilen zellularen Kommunikationstechnologie basieren, haben den Nachteil eines hohen Stromverbrauchs und hoher Kosten. Ursprünglich wurde

die mobile zellulare Kommunikationstechnologie hauptsächlich für die Mensch-zu-Mensch-Kommunikation entwickelt.

Deshalb wurde das LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) entwickelt, um den Verbindungsanforderungen von immer mehr IoT-Geräten mit großer Reichweite gerecht zu werden. LPWAN ist für zahlreiche IoT-Anwendungen über große Entfernungen, geringe Bandbreite, geringen Stromverbrauch und niedrige Kosten ausgelegt. Es bietet Langstreckenkommunikation von 10 bis zu 40 km in ländlichen und 1 bis 5 km in urbanen Gebieten [CVZZ16]. LoRa und NB-IoT sind die führenden LPWAN-Technologien, die um den breit angelegten IoT-Einsatz konkurrieren [MBCM18].

LoRa ist eine Technologie der physikalischen Layer [Sfor13], die die Signale im Sub-GHZ-ISM-Band unter Verwendung einer proprietären Spread-Spectrum-Technik moduliert. Die bidirektionale Kommunikation wird bereitgestellt durch die Chirp-Spread-Spectrum-Modulation (CSS), die ein schmalbandiges Signal über eine größere Kanalbandbreite verteilt. Das so erzeugte Signal hat einen niedrigen Rauschpegel, was eine hohe Störresistenz ermöglicht und schwer zu detektieren oder zu stören ist [RMP16]. LoRa arbeitet in einem genehmigungsfreien Frequenzband. Die Netzwerkarchitektur ist einfach, kann an die Standortbedingungen angepasst werden und die Betriebskosten sind niedrig. Die LoRa-Allianz fördert weltweit intensiv das standardisierte LoRaWAN-Protokoll, so dass Geräte, die der LoRaWAN-Spezifikation entsprechen, miteinander verbunden werden können.

NB-IoT ist eine LPWAN-Technologie, die auf Schmalband Funktechnologie basiert und durch das Partnerschaftsprojekt der 3. Generation (3GPP) standardisiert wird. NB-IoT kann koexistieren mit GSM (global system for mobile communications) und LTE (long-term evolution) unter lizenzierten Frequenzbändern. NB-IoT belegt eine Frequenzbandbreite von 200 KHz, was einem Ressourcenblock bei einer GSM- und LTE-Übertragung entspricht [WLGSB16].

Egal wie leistungsfähig das LPWAN-Protokoll ist, die Kosten sollten immer berücksichtigt werden, da sie sonst keine tragfähige IoT-Lösung darstellen können. LoRa hat in dieser Hinsicht einen Vorteil. Die Gesamtkosten des LoRaWAN-Moduls belaufen sich auf etwa 8-10 \$, was etwa der Hälfte des Preises von NB-IoT-Modulen entspricht. Aufgrund der Komplexität des NB-IoT-Netzes und der Gebühr für geistiges Eigentum (in Bezug auf das genehmigte Frequenzband) sind die Gesamtkosten für das NB-IoT wesentlich höher. Darüber hinaus ist die Aufrüstung von NB-IoT zu modernen 4G/LTE-Basisstationen teurer als die LoRa-Einführung durch Industrie-Gateways oder Tower-Top-Gateways. Mit zunehmender Marktreife werden die Kosten der LoRa-Technologie in Zukunft noch geringer ausfallen.

LoRa dient als das kostengünstigere Gerät, mit sehr großer Reichweite (hohe Abdeckung), sporadischer Kommunikationsrate und langer Batterielebensdauer[MBCM18]. Darüber hinaus wird LoRa auch für den lokalen Netzaufbau und die zuverlässige Kommunikation dienen, wenn sich die Geräte mit hoher Geschwindigkeit bewegen. Im Gegensatz dazu wird NB-IoT die höherwertigen IoT-Märkte bedienen, die bereit sind, für sehr geringe Latenzzeiten und hohe Dienstqualität zu zahlen.

In Anbetracht der Projektanforderungen wurde schließlich die LoRa-Technologie für das EBS-System ausgewählt. Im Folgenden soll daher im Detail auf die technische Umsetzung der beschriebenen Lösung eingegangen werden.

### **3 ARCHITEKTUR DES ECHTZEITIGEN BESTANDSMANAGEMENTSYSTEMS (EBS)**

Nach den Funktionen wird das EBS-System in drei Ebenen abstrahiert, nämlich Perzeptionsebene, Netzwerkebene und Applikationsebene. Die Architektur des EBS-Systems wird in Abbildung 4 dargestellt.

Die Perzeptionsebene nutzt bewährte Sensortechnologie zur Erfassung physikalischer Ereignisse und Daten, die in der physischen Welt auftreten, sowie zur Steuerung physikalischer Geräte. Die Perzeptionsebene ist die Kernschicht des EBS-Systems.

Die Netzwerkebene nutzt hauptsächlich verschiedene Netzwerkkommunikationstechnologien, um die Übertragung von Daten zu realisieren. Diese Ebene ist die Datenbrücke zwischen der physischen Welt und den Benutzeranwendungen.

Die Applikationsebene orientiert sich direkt am Anwender und ist sehr gezielt auf unterschiedliche Bedürfnisse ausgelegt.

Die drei abstrakten Systemunterebenen sind für die entsprechenden Funktionen verantwortlich und vervollständigen die Interaktion über spezifische Datenschnittstellen, um die gesamte Systemfunktion zu koordinieren.

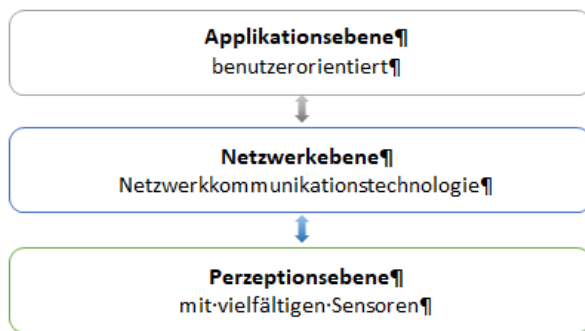


Abbildung 4. System-Architektur des echtzeitigen Bestandsmanagementsystems

### 3.1 TECHNISCHE DARSTELLUNG DES ECHTZEITIGEN BESTANDSMANAGEMENTSYSTEMS

Die Perzeptionsebene als Kernebene des EBS-Systems ist hauptsächlich für die Erfassung der Informationsdaten des RFID-Tags in der physischen Einheit und auch für die Vorverarbeitung der Daten verantwortlich. Die Sensoreinheit, die die Rolle der Informationserfassung übernimmt, stand im Mittelpunkt der Entwicklung des Industrie- und Informationsgebietes. Die Sensoreinheit nimmt nicht nur das Signal auf und identifiziert das Objekt, sondern hat auch die Funktion der Verarbeitungssteuerung.

Die Sensoreinheit in diesem System besteht aus der zentralen Mikrosteuereinheit MCU, RFID-Lese-/Schreibgerät, RFID-Tag und dem LoRa-RF-Modul.

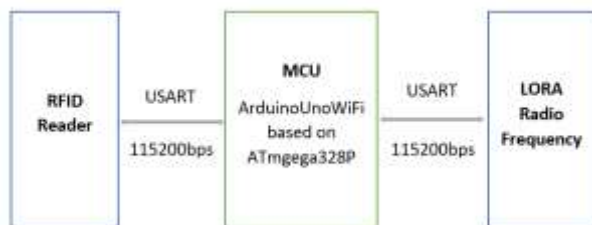


Abbildung 5. Technologischer Aufbau der Perzeptionsebene des EBS.

- Mikrosteuereinheit (MCU)

Die MCU in der Perzeptionsebene ist mit dem Arduino Uno WiFi-Prozessor ausgestattet, der auf dem ATmega328P basiert und das ESP8266 WiFi-Modul integriert. Das ESP8266 WiFi-Modul hat einen eingebauten SoC, der den TCP/IP-Protokollstack implementiert. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Netzwerkumgebung des realen Anwendungsszenarios relativ kompliziert ist, verwenden wir die WiFi-Funktion nicht für den Datentransfer zwischen den Knoten der Netzwerkebene.

Die MCU ist hauptsächlich für die Steuerung von RFID-Lesegeräten und LoRa-RF-Modulen sowie für die Datenvorverarbeitung zuständig. Die Dateninteraktion zwischen MCU und RFID-Lesegerät erfolgt über das serielle Kommunikationsprotokoll. Die Baudrate ist auf 115200bps eingestellt, 8-Bit-Wortlänge, kein Paritätsbit. In der MCU werden die Initialisierung des RFID-Lesegeräts, die Scanzeit, die Datenstatistik und die Datenverpackung durch Programmierung in der Sprache C erreicht. Dasselbe gilt für das LoRa RF-Modul.

- RFID Lese-/Schreibgerät

Das ausgewählte RFID-Lesegerät ist das Spark-Fun-Simultan-RFID-Lesegerät, das EPCGlobalGen2-Tags mit bis zu 150 Tags pro Sekunde lesen kann. Beschreiben des Etiketts kann in 80 Millisekunden durchgeführt werden. Die Ausgangsleistung des Lesegeräts kann von 0dBm bis 27dBm eingestellt werden. Wenn eine externe Antenne verwendet wird, kann die maximale Lese-/Schreibdistanz bis zu 4,9 m erreichen, wodurch die Anforderungen unseres Systems erfüllt werden können.

- RFID-Tag

Die RFID-Tags, die wir ausgewählt haben, sind elektronische ISO18000-6C-Tags, die dem Air-Interface-Protokoll ISO 18000-6C entsprechen. Gemäß dem Protokoll ist der Tag-Speicher logisch in vier Speicherbänke unterteilt: Reservierter Speicher, EPC-Speicherbank, TID-Speicherbank und Benutzerspeicherbank. Jede Speicherbank kann aus einem oder mehreren Speichern bestehen. Wir schreiben unsere kundenspezifischen EPC-Daten mit einer eindeutigen Identifizierungsfunktion in den EPC-Speicher.

- LoRa-RF-Modul

Das ausgewählte LoRa-Modul in diesem System ist ein RF-Modul, das auf den Chips SX1278 und STML151 basiert. Es verwendet eine patentierte Technologie zur Spread-Spectrum-Modulation und Vorwärtsfehlerkorrektur. Verglichen mit der traditionellen FSK (Frequency-Shift Keying)- und OOK (On-Off Keying)-Modulationstechnologie erweitert es die Abdeckung der drahtlosen Kommunikationsverbindung, erreicht eine drahtlose Übertragung über große Entfernungen und verbessert die Robustheit der Verbindung. Die ideale Übertragungsdistanz kann

bis zu 5 Km erreichen, und das einzelne maximale Datenvolumen beträgt 256 Byte.

### 3.2 DATENSICHERHEIT

Die LoRa-Technologie beinhaltet ein strenges Datenverarbeitungssystem, um die Datensicherheit zu gewährleisten. Nach dem LoRaWAN-Protokoll speichern der Knoten und der Anwendungsserver gemeinsam den Anwendungsschlüssel und die EUI des Knotens, nämlich die beiden privaten Parameter, die zur Ver- und Entschlüsselung von Daten für Zugriffsanträge verwendet werden.

- Antrag auf Internetzugang

Bevor der LoRa-Knoten Daten senden kann, muss die Aktivierung abgeschlossen sein. Wenn das Gerät vollständig aufgeladen ist, sendet der LoRa-Knoten an das Netzwerk eine Eingangsanforderung, in welcher die 64-Bit-EUI des Knotens und andere Informationen enthalten sind. Nach Empfang dieses Anforderungspakets durchsucht der Anwendungsserver die Datenbank auf der Grundlage der Knoten-EUI, um zu überprüfen, ob der Knoten die Registrierung abgeschlossen hat.

Wenn die Registrierung abgeschlossen ist, wird auf der Grundlage der Knoten-EUI und des Geheimschlüssels der Anwendung eine 32-Bit-Knotenadresse generiert und an den Knoten zurückgeschickt. Diese Adresse muss bei jeder nachfolgenden Datenübertragung als eindeutige Darstellung des Knotens mitgeführt werden.

- Verschlüsselung und Entschlüsselung von Daten

Nach der Aktivierung kann der Knoten die Daten an den Anwendungsserver senden. Vor dem Absenden sollten die Daten mit dem ASE128-Verschlüsselungsalgorithmus entsprechend dem Anwendungsschlüssel und anderen relevanten Parametern verschlüsselt werden. Dann kann der Knoten die verschlüsselten Daten mit Adresse an den Anwendungsserver verschicken. Die Daten werden dann vom Anwendungsserver entschlüsselt und an den Custom Server übertragen.

## 4 DESIGN DES INTELLIGENTEN LADUNGSTRÄGERS UND AUFBAU DES PROTOTYPS DES EBS-SYSTEMS

Gemäß dem Systemdesign haben wir uns für die LoRa-Technologie entschieden, die ein unlizenzierter Frequenzband verwendet. Aus diesem Grund ist es erforderlich, dass wir unser eigenes Netzwerk aufbauen.

Wir konzipieren iterative Lösungen von einfach bis komplex. Aufgrund des Unterschieds der Kernfunktionen wird die Lösung in einen Knoten-Knoten-Modus und einen Multi-Knoten-Gateway-Modus eingeteilt.

Die Funktionen dieser beiden Lösungen bleiben auf der Perzeptionsebene gleich, aber es gibt gewisse Unterschiede zwischen der Netzwerkebene und der Applikationsebene.

### 4.1 KNOTEN-KNOTEN-MODUS

Zunächst werden passive RFID-UHF-Tags zur Erkennung auf der Verpackung jeder Einheit aufgeklebt. In diesem Szenario wählen wir eine Art von zerbrechlichen RFID-Tags. Nachdem die zerbrechlichen Tags aufgeklebt wurden, können sie nicht normal abgezogen werden. Wenn Sie die Verpackung öffnen möchten, wird das RFID-Etikett automatisch unlesbar. Dadurch sind die Tags übertragungssicher, reißfest und rückverfolgbar, der Inhalt jeder Einheit kann nicht wiederverwendet werden und die Möglichkeit des Missbrauchs wird verhindert.

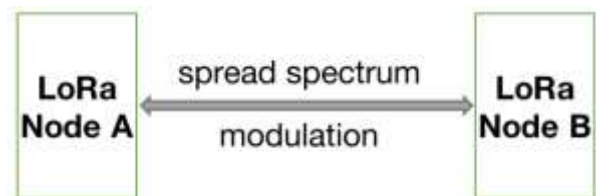


Abbildung 6. LoRa Knoten-Knoten-Netzwerk

Arduino A ist so eingestellt, dass es die Zeitmessung und -steuerung entsprechend dem Systemdesign durchführt. Wenn das Intervall die effektive Schwelle erreicht oder eine manuelle Taste ausgelöst wird, aktiviert die MCU des Arduino A das RFID-Lesegerät und sendet einen Lesebefehl.

Sobald das RFID-Lesegerät aktiviert wurde und die Anweisung erhalten hat, scannt es alle zerbrechlichen RFID-Tags im Implantat-Kit und sendet die erhaltenen Daten über das serielle Kommunikationsprotokoll an Arduino A zurück.

Wenn Arduino A die Daten vorverarbeitet und verpackt hat, werden sie durch das LoRa RF-Modul der Netzwerkebene mittels Frequenzmodulation an Arduino B gesendet.

Während des gesamten Prozesses behält Arduino B den Überwachungsstatus bei. Nach dem Empfang des von Arduino A gesendeten Radiowellensignals im Raum wird das Signal wieder in ein digitales Signal umgewandelt und

über das TCP/IP-Protokoll an den Custom Server der Applikationsebene gesendet, so dass es auf dem Dashboard oder in der Datenbank angezeigt werden kann.



Abbildung 7. Prototyp des EBS-Systems mit LoRa Knoten-Knoten-Modus



Abbildung 8. Prototyp des EBS-Systems mit Multi-Knoten-Gateway-Modus

**Vorteile:**

- Das einzelne Datenvolumen beträgt bis zu 256 Byte;
- Das selbst gebaute private Netzwerk ist relativ einfach und kostengünstig.

**Nachteile:**

- Die Anpassungsfähigkeit ist nicht optimal
- Die Lösung ist nicht in der Lage, die Probleme mehrerer Geräte zu bewältigen.
- Die Fähigkeit, Wände zu durchdringen, ist schlecht

**4.2 MULTI-KNOTEN-GATEWAY-MODUS**

Die Verarbeitung der Perzeptionsebene in dem Knoten-Gateway-Modus ist die gleiche wie im Knoten-Knoten-Modus. Je nach Systemdesign kann das RFID-Lesegerät manuell oder automatisch ausgelöst werden. Nach dem Empfang der Scandaten sendet der Knoten die Daten weiterhin über LoRa. Der Unterschied besteht darin, dass in der Netzwerkebene der Gateway die weiterhin mithörenden Knoten ersetzt.



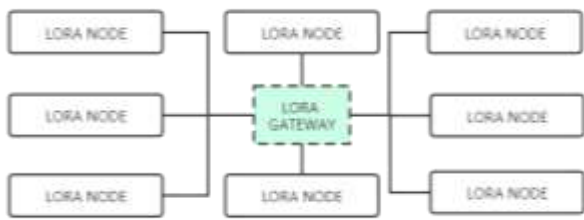


Abbildung 9. LoRa Multi-Knoten-Gateway-Modus

Wenn das Funkwellensignal empfangen wird, wird es in ein digitales Signal konvertiert, die Daten werden in das JSON-Format gepackt und über das UDP/IP-Protokoll an den Netzwerkserver gesendet. Am Ende werden sie vom Netzwerkserver an den benutzerdefinierten Server weitergeleitet.

Im Vergleich zum Knoten-Knoten-Modus muss der Multi-Knoten-Gateway-Modus die effektive Abdeckung des Gateways, die maximale Kapazität des Gateways und die Identifizierung von Knoten in konkreten Anwendungen bestimmen.

## 5 TESTERGEBNISSE / FAZIT

Der LoRa-Gateway kann theoretisch im urbanen Bereich ohne Barrieren eine Reichweite von 1-5 km abdecken. Die tatsächliche Übertragungseffizienz steht jedoch in engem Zusammenhang mit der Sendeumgebung.

Bei dem Test wurde eine Multi-Knoten-Einzel-Gateway-Modus-Lösung verwendet. Das Testgebäude hat 5 Etagen, die Etagenhöhe beträgt 2,5 m, die Stockwerksdicke ist 30 cm, der horizontale Abstand auf einer Etage 45 m und das Material der Bodenkonstruktion ist Stahlbeton.

LoRa-Gateways wurden in verschiedenen Geschossen (4. Geschoss, 1. Geschoss und Untergeschoss) eingerichtet und über den mobilen Hotspot mit dem Internet verbunden.

Dann wurde das Knotengerät platziert, das die experimentellen Daten von allen Stockwerken, einschließlich Keller, Erdgeschoss, 1., 2., 3. Etage und 4. Obergeschoss sendet und die Vollständigkeit der tatsächlich auf dem Kundenserver empfangenen Daten aufzeichnet.

In unserem Experiment wurden insgesamt 3 Datenpakete mit einer Länge von 20\*5 Bytes, 30\*5 Bytes und 60\*5 Bytes im Intervall von 30s nacheinander gesendet.

Wenn die Daten vollständig empfangen werden können und kein Paketverlust festgestellt wird, beträgt die Erfolgsrate bei der vollständigen Datenannahme 100%. Wenn die Daten nur teilweise angenommen werden können und

die Paketverlustrate hoch ist, dann zeigt die betreffende Benutzerseite Datenfehler an. Die Empfangserfolgsrate beträgt 0%.

Die Testergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Erfolgsrate in verschiedenen Geschossen	LoRa Gateway an 4.O.G.	LoRa Gateway an 1.O.G.	LoRa Gateway an U.G.
4. O.G.	100%	0%	0%
3. O.G.	100%	100%	0%
2. O.G.	100%	100%	0%
1. O.G.	0%	100%	100%
E.G.	0%	100%	100%
U.G.	0%	100%	100%

In unserem Prototyp-Test wird die Signalabschwächung hauptsächlich durch sich überkreuzende Hindernisse, nämlich Bodenplatten, verursacht, während die horizontale Freiraumabdämpfung zwischen denselben Etagen relativ wenig Einfluss hat. Aufgrund der Sperrung des Bodenmaterials Stahlbeton kann der LoRa-Gateway grundsätzlich die Einsatzetage und die oberen zwei und unteren zwei Geschosse zu 100% abdecken. Wenn das gesamte Gebäude abgedeckt werden soll, kann zusätzlich die Multi-Knoten-Multi-Gateway-Modus-Lösung gewählt werden.

## 6 FÖRDERHINWEIS

Teile dieser Veröffentlichung entstanden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung für digitalisierte Dispositions- und Dokumentationsaufgaben in der Logistik (Pro-DigiLog)“, das von dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie des Europäischen Sozialfonds der Europäischen Union (ESF) für den Förderaufruf „Arbeit in der digitalisierten Welt“ unter dem Förderkennzeichen 02L15A130 gefördert wird.

## LITERATUR

- [AIKTF16] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.) (2016): Handbuch Logistik, Aufl. 4. Berlin: Springer Verlag GmbH.

- [CHK13] Clausen, U.; Holloh, K.; Kadow, M. (2014): Vision of the Future: Transportation and Logistics 2030 – Examining the Potential fort. of long range unlicensed communication, in: Proc. of ICT, Thessaloniki, Greece, S. 51–56.
- [CVZZ16] Centenaro, M.; Vangelista, L.; Zanella, A.; Zorzi, M. (2016): Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios, *IEEE J. Wirel. Comm.* 23 (5) (2016) S. 60–67.
- [DSL15] Deutscher Spedition- und Logistikverband e.V. (DSL15): Zahlen Daten Fakten aus Spedition und Logistik. Berlin: DSLV e.V.
- [FHB18] Faller, S.; Hampa, M.; Bitsch, G.; Hummel, V.; Brenner, B. (2018): Shopfloor Management in der selbstgesteuerten Logistik-Lern-Fabrik. *Journal of engineering, management and operations*, Vol.I. 2018, Zürich, S. 133-147.
- [HPP07] Hunt, v. D.; Puglia, A.; Puglia, M. (2007): RFID- A guide to Radio Frequency Identification. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [KKK12] Klaus, P.; Krieger, W.; Krupp, M. (Hrsg.) (2012): *Gabler Lexikon Logistik- Management logistischer Netzwerke und Flüsse*, Aufl. 5. Wiesbaden: Springer Verlag GmbH.
- [Koc12] Koch, S. (2012) *Logistik- Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit*. Berlin: Springer Verlag GmbH, 2012.
- [MBCM18] Mekki, K.; Bajic E.; Chaxel, F.; Meyer F. (2018): A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, *The Korean Institute of Communications and Information Sciences (KICS)*, Elsevier B.V., 2018.
- [RBKS13] Richter, M.; Baumgarten, H. (Hrsg.); Klinkner, R. (Hrsg.); Straube, F. (Hrsg.) (2013): *Nutzenoptimierter RFID- Einsatz in der Logistik- Eine Handlungsempfehlung zur Lokalisierung und Bewertung der Nutzenpotenziale von RFID- Anwendungen*. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- [RMP16] Reynders, B.; Meert, W.; Pollin, S. (2016): Range and coexistence analysis
- [Rot13] Roth, M. (2013): Monitoring von Prozessinstanzen in logistischen Netzwerken. In: 17. Interuniversitären Doktorandenseminar Wirtschaftsinformatik, Jena.
- [Sfor13] Sforza, F.: Communications system, 26 March 2013, US Patent US8406275B2.
- [VCBR11] Voigt, M.; Cao, L.; Borstell, H.; Richter, K. (2011): Neue Technologien für die Laderaumüberwachung. In: Schenk, M. 11./12. Forschungskolloquium am Fraunhofer IFF, 16. September 2011, Magdeburg, S.35-38.
- [WLGS16] Wang, Y.E.; Lin, X.; Grovlen, A.; Sui, Y.; Bergman, J. (2016): A primer on 3GPP narrowband internet of things, *IEEE Commun. Mag.* 55 (3) (2016) S.117–123.
- 
- Fuyin Wei, M.Sc.**, Researcher at the Department of Transport Systems and Logistics (TuL), coordinator Sino-German Department of Centre for Logistics and Traffic (ZLV) at University Duisburg- Essen.  
Phone: +49 203 379-7719  
E-Mail: [fuyin.wei@uni-due.de](mailto:fuyin.wei@uni-due.de)
- Fei Xiang, M.Sc.**, Researcher at the Department of Transport Systems and Logistics (TuL)  
Phone: +49 203 379-7719  
E-Mail: [fei.xiang@uni-due.de](mailto:fei.xiang@uni-due.de)
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche** is the Chair holder of the Department of Transport Systems and Logistics (TuL), and the board Chairman of Centre for Logistics and Traffic (ZLV) at University Duisburg-Essen.  
Phone: +49 203 379-7050  
E-Mail: [bernd.noeche@uni-due.de](mailto:bernd.noeche@uni-due.de)
- Adresse\*: Lehrstuhl für Transportsysteme und -logistik, Universität Duisburg-Essen, Keetmanstr. 3-9, 47058 Duisburg, Germany,
- Dr.-Ing. Sebastian Verhoeven**  
Vice President STOK Europe (Healthcare), Arvato Supply Chain Solutions
- Adresse\*\*: Arvato Distribution GmbH, Gottlieb-Daimler-Straße 1, 33428 Harsewinkel, Germany,  
Phone: +49 5241 80 88765, Fax: +49 5241 80 688765,  
E-Mail: [sebastian.verhoeven@arvato.com](mailto:sebastian.verhoeven@arvato.com)