



Low Power Wide Area Networks (LPWAN) für krisentaugliche Datenübertragung in landwirtschaftlichen Betrieben

Autarke Kommunikationssysteme für Anwendungen niedriger Bandbreite

Franz Kuntke ¹, Marcel Sinn¹, Sebastian Linsner¹ und Christian Reuter¹ 

Abstract: Zuverlässige IT-basierte Kommunikation in der Landwirtschaft wird immer wichtiger für den regulären Betriebsablauf. Sollte sich ein Landwirt beispielsweise während eines lokalen Krisenfalls, wie einem Ausfall des Mobilfunknetzes oder des Internetzugangs des Betriebs, auf dem Feld aufhalten, wird ein alternativer Kommunikationskanal benötigt, um weiterhin eine Verbindung zu IT-Komponenten und benötigten Daten herstellen zu können. Mit der zunehmenden Digitalisierung finden Low-Power-Wide-Area-Network (LPWAN)-Technologien immer häufiger Anwendung, beispielsweise durch den Aufbau von Sensornetzwerken. Die eingesetzten LPWAN-Technologien bieten dabei eine hohe Reichweite und sind größtenteils autark einsetzbar, erlauben jedoch keine klassische TCP/IP-Kommunikation. Im Rahmen dieser Arbeit wird experimentell eine populäre LPWAN-Technologie, namentlich LoRaWAN, durch AX.25 auf OSI-Schicht 2 (Data Link Layer) ergänzt, um Endgeräten eine TCP/IP-basierte Kommunikation über weite Strecken zu erlauben. Die Evaluation zeigt, dass klassische Anwendungen mit niedriger Bandbreite somit funktionsfähig sind und krisentaugliche Datenübertragung in landwirtschaftlichen Betrieben ermöglichen können.

Keywords: LoRa, IoT, Resilienz, Krisentauglichkeit, autarke Kommunikation

1 Einleitung

Durch die mit der Digitalisierung einhergehende Vernetzung verschiedenster Systeme und Akteure nimmt die Bedeutung von IT-basierter Kommunikation in der Landwirtschaft stetig zu. Parallel dazu ist die Landwirtschaft für die Nahrungsmittelproduktion essentiell und somit Teil der kritischen Infrastruktur (KRITIS) Ernährung. Entsprechend hoch sind die Anforderungen und Erwartungen an die eingesetzten Technologien [Ku20]. Sollte sich ein Landwirt beispielsweise während eines lokalen Krisenfalls, wie Ausfall des Mobilfunknetzes oder des betrieblichen Internetanschlusses, auf dem Feld aufhalten, kann ein alternativer Kommunikationskanal hilfreich sein, um weiterhin eine Verbindung zu

¹ Technische Universität (TU) Darmstadt, Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), 64289 Darmstadt, kuntke@peasec.tu-darmstadt.de, <https://orcid.org/0000-0002-7656-5919>, sinnmarcel88@gmail.com, linsner@peasec.tu-darmstadt.de, reuter@peasec.tu-darmstadt.de, <https://orcid.org/0000-0003-1920-038X>

kritischen IT-Komponenten herstellen zu können. Lückenlose Dokumentation der Arbeitsschritte und die korrekte Anbindung der Maschinen an erforderliche Datenquellen ist wichtig, kritisch wird es jedoch vor allem im Hinblick auf die Vernetzung der Stallklimatisierung. Hierbei ist eine sichere Datenübertragung für korrektes Monitoring und zuverlässige Warnungen bei Fehlern für die Sicherheit der Tiere essentiell.

Um die Anforderungen für solch einen Kommunikationskanal abzuleiten, wird in Kapitel 2 die Domäne ausgehend von dem Trend des Internet of Things (IoT) beleuchtet. Dabei zeichnen sich LPWAN-Technologien als eine notwendige Schlüsseltechnologie ab, die durch den steigenden Einsatz von Lösungen aus dem Bereich IoT Aufschwung erhält. In Kapitel 3 wird ausgehend von einer Herstelleranalyse der Anwendungsfall motiviert, woraufhin in Kapitel 4 ein Konzept basierend auf LoRa (der unteren Schicht von LoRaWAN) vorgestellt wird, das als Brückentechnologie für herkömmliche Technologien dienen soll. Kapitel 5 evaluiert den Ansatz mit Hilfe eines physischen Testbetts auf Basis generischer Netzwerkprotokolle SSH und http. Abschließend wird in Kapitel 6 eine Zusammenfassung samt Ausblick auf den Themenkomplex der resilienten Datenkommunikation mittels LPWAN-Technologie gegeben.

2 Verwandte Arbeiten / Stand der Forschung und Technik

IoT gilt als eine der Schlüsseltechnologien für die nächste Stufe der Landwirtschaft [Li20]. Kernmerkmal von IoT ist die Anbindung kleiner Geräte an ein Netzwerk, um eine Steuerung und Überwachung der echten Welt mittels Informationstechnologie durchzuführen. In der Landwirtschaft gibt es bereits eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, die eine Ertragsoptimierung versprechen [Ay19]. Zu den Beispielen gehören Bodensensoren zur Nährstoffermittlung, Bewässerungsanlagen und Insektenfallen, neben vielen anderen. Ein Großteil der Anwendungsfälle setzt dabei auf eine drahtlose Datenübermittlung. Da sich klassische Übertragungstechnologien für den Hausgebrauch wie LTE, WiFi oder Bluetooth durch zu hohen Stromverbrauch (LTE, WiFi) oder zu geringe Reichweite/Abdeckung (WiFi /Bluetooth) nicht eignen, haben sich vergleichsweise neue Technologien hervorgetan, die sogenannten Low Power Wide Area Networks (LPWAN).

In der Kategorie LPWAN gibt es diverse Kommunikationstechnologien und -protokolle [RKS17]. Zu den bekannteren Vertretern gehören SigFox [LPP19], LoRaWAN [Lo17], und NB-IoT [Ra16], darüber hinaus gibt es weniger populäre Protokolle wie Ingenu RPMA [RKS17] und MIOTY [Ju19]. Merkmale der Technologien lassen sich tabellarisch wie folgt zusammenfassen:

Technologie	Frequenzband	Reichweite	Datenrate
LoRaWAN	868 MHz (EU)	bis 30 km	50 kbps
MIOTY	868 MHz	bis 15 km	407 bps

Technologie	Frequenzband	Reichweite	Datenrate
NB-IoT	180 KHz	bis 15 km	250 kbps
SigFox	908.42 MHz	bis 50 km	100 bps (up) 600 bps (down)
Ingenu RPMA	2,4 GHz	bis 15 km	78 kbps (up) 19,5 kbps (down)

Tab. 1: LPWAN-Technologien im Vergleich

Unter diesen betrachteten LPWAN-Technologien ist allerdings LoRaWAN hervorzuheben, zumindest durch zwei Aspekte: (1) Es handelt sich um einen vergleichsweise offenen Standard und darf eigenständig betrieben werden, und (2) durch die hohe Popularität gibt es eine große Menge an verfügbarer Hardware zum Aufbau von LoRaWAN-Netzwerken, ebenso wie Sensorknoten, die Daten mittels LoRaWAN übermitteln.

3 Anwendungsfall und Kommunikationstechnologie von Agrar-IoT

Probleme der modernen Technologie mit IT-Komponenten bieten einige Vorzüge, können aber ebenso in der Praxis negative Konsequenzen mit sich bringen [RSE19]. Gerade beim Ausfall von Regelungstechnik kann es zu ernsthaften Problemen kommen, beispielsweise bei der Steuerung von Biogasanlagen oder der Stallklimatisierung. Wenn wichtige Informationen über drahtlose Kommunikationskanäle übermittelt werden, muss entsprechend sichergestellt werden, dass diese Kommunikationskanäle auch funktionieren. Ist dies nicht der Fall, so kann es vorkommen, dass beispielsweise kritische Fehlermeldungen nicht rechtzeitig bei entsprechenden Stellen ankommen. Weniger gravierend, aber dennoch problematisch kann auch moderne Technologie in Zusammenhang mit einer vergleichsweise schlecht ausgebauten Mobilfunkabdeckung in Deutschland sein, besonders im ländlichen Raum [We20].

Stellvertretend für IoT-Technologie, die in Deutschland verfügbar ist, wurde in Q1/2020 eine Auswahl von Herstellern von Agrarelektronik hinsichtlich der Kommunikationstechnologien ihrer Produkte untersucht, wodurch sich folgende Zusammenstellung ergibt:

Hersteller	Kommunikationstechnologie
Agricon	USB, Mobilfunk, WiFi
Big Dutchman	USB, Mobilfunk, LAN, ISDN
CLAAS	USB, Mobilfunk, WiFi, Satellit
Gemini Data Loggers	USB, LAN, proprietäre Funklösung
METOS by Pessl Instrument	Mobilfunk, WiFi, LoRaWAN, NB-IoT

Hersteller	Kommunikationstechnologie
Müller Elektronik	USB, Mobilfunk, Satellit, Bluetooth

Tab. 2: Kommunikationstechnologien unterschiedlicher Agrarelektronik-Hersteller

Hierbei zeigt sich, dass Hersteller auch durchaus noch auf Mobilfunk als Mittel der Wahl setzen um ihre Produkte im Feld anzusteuern. Idee dieser Arbeit ist nun einen auf LPWAN-Technologie basierten Kommunikationskanal für Geräte zu entwickeln, die von Haus aus noch nicht damit ausgestattet sind. Vorteile, die sich dadurch ergeben, sind folgende: (1) Bei oben beschriebener mangelnder Netzabdeckung kann man das Gerät dennoch in weiter Entfernung einsetzen, (2) es lässt sich ein redundanter Kanal für kritische Kommunikation einrichten, und (3) es lässt sich ältere Hardware mit LPWAN-Funktionalität ausstatten.

4 Konzept und Umsetzung: LoRa + AX.25 + IPv4 + TCP

Aufgrund der soliden Reichweite bei vergleichsweise hoher Datenrate sowie guter Verfügbarkeit für Hardware- und Software-Komponenten haben wir uns bei der Umsetzung der LPWAN-basierten Übertragung für LoRaWAN als Ausgangspunkt entschieden. Größtes Hindernis bei der Übertragung von Daten zwischen herkömmlichen Netzwerkanwendungen und LPWAN-Anwendungen ist die Übersetzung der Adressierung. Um Overhead zu vermeiden, werden LPWAN-Protokolle nicht mit einem TCP/IP-Stack ausgestattet. Dieser ist allerdings für die Kommunikation mit herkömmlichen Geräten vonnöten. Kernaspekt unseres Konzeptes ist es daher, die weitreichende LPWAN-Technologie mit eben jenem TCP/IP-Stack auszustatten. Dafür wird alles von LoRaWAN über OSI-Schicht 1 (Physical Layer) ersetzt. Von LoRaWAN bleibt folglich nur noch LoRa übrig. A(mateur)X.25 [NK18] ist ein Data Link Layer Protokoll, das eine Variation des X.25 Protokolls darstellt, welches extra für den Amateurfunk angepasst ist und unter anderem die Kommunikation via Frames spezifiziert. AX.25 übernimmt die typischen Aufgaben von OSI-Schicht 2 (Data Link Layer) wie den Verbindungsaufbau zwischen zwei Endgeräten oder den Funkkanalzugriff. Durch AX.25 können auf OSI-Schicht 3 und 4 somit IPv4 und TCP implementiert werden.

Das Konzept wurde in einem Testbett umgesetzt, um es auch mit echter Hardware testen zu können. RNodes (siehe <https://unsigned.io/projects/rnode/>, zuletzt abgerufen am 05.11.2020) wurden hierbei als Netzwerkmodule eingesetzt. Zwei Laptops dienten als

Brücke zu herkömmlichen IP-basierten Anwendungen, die mittels Virtuellen Maschinen simuliert wurden:

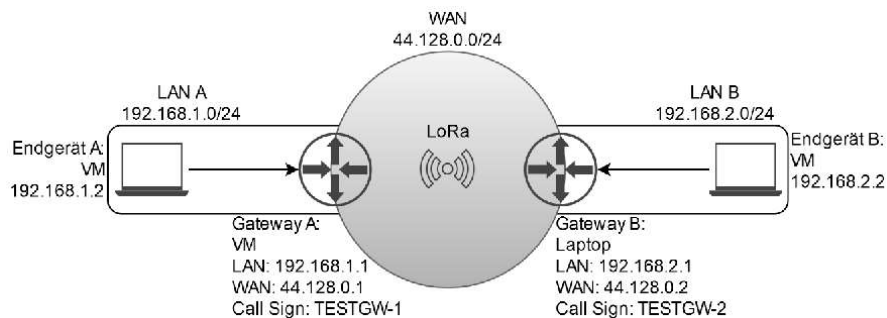


Abb. 1: Schema des Testbett-Aufbaus

5 Auswertung

Um die Funktionalität zu testen, wurden die beiden Protokolle http und SSH ausgewählt, da sie typische Anwendungsszenarien repräsentieren: unverschlüsselter einseitiger Datenaustausch (http) sowie verschlüsselte bidirektionale Kommunikation (SSH). Der http-Test beinhaltet dabei die einfache Übermittlung der aktuellen Zeit. Der SSH-Test besteht aus einem einfachen Verbindungsaufbau mittels OpenSSH (sowohl Client als auch Server). Ein erfolgreicher Verbindungsaufbau wird als Erfolg gewertet. Da sich LoRa mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsstufen (zu Lasten der Reichweite) konfigurieren lässt, dem sogenannten Spreading Factor (SF) – wobei Werte zwischen SF7 (schnell) und SF12 (hohe Reichweite) möglich sind – wurden die Tests in bis zu 1 km mit SF7, SF9 und SF12 durchgeführt. Die Tests waren alle erfolgreich, bis auf ssh mit SF12, womit wir die prinzipielle Funktionalität des Konzeptes zeigen können. Je mehr Bandbreite ein Protokoll benötigt, desto geringer ist allerdings die Wahrscheinlichkeit, eine sehr hohe Reichweite zu erzielen. Ebenso wird sich aufgrund der geringen Datenrate von max. 50 kbps nur textuelle Datenübertragung (z. B. Sensordaten, Statuscodes von Steuerungsanlagen) eignen. Eine denkbare Anwendung könnte die Überwachung einer bestehenden Stallklimatisierung sein.

6 Abschluss und Ausblick

Die politischen, wissenschaftlichen und technologischen Trends zeigen, dass die Digitalisierung in der Landwirtschaft in Zukunft weiter zunehmen wird. Die damit einhergehende Vernetzung und Automatisierung lassen die benötigten Kommunikationskanäle somit immer wichtiger werden, was die Notwendigkeit der Forschung in diesem Gebiet verdeutlicht. Mit unserem Beitrag haben wir gezeigt, dass es

Möglichkeiten gibt, moderne, autark-betreibbare, weitreichende Kommunikationskanäle zu nutzen, um klassische TCP/IP-basierte Technologie zu nutzen. Unsere Umsetzung hat dabei LoRa mittels AX.25 kombiniert, um die Nutzung von TCP/IP über weite Strecken zu ermöglichen. Besonders interessant für weitere Untersuchungen sind LPWAN-Technologien, die in einem Frequenzband arbeiten, das keine Restriktion der Sendezeit (Duty Cycle) aufweist, z. B. Ingenu RPMA.

Danksagung: Diese Arbeit wurde aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank im Rahmen des Projekts GeoBox-I sowie GeoBox-II sowie durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen von HyServ (01IS17030B) gefördert.

Literaturverzeichnis

- [Ay19] Ayaz, M. et al.: Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. In: *IEEE Access* Bd. 7, S. 129551–129583, 2019.
- [Ju19] Jubin S. E et al.: Test and Measurement of LPWAN and Cellular IoT Networks in a Unified Testbed. In: *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Bd. 2019-July, S. 1521–1527, 2019.
- [Ku20] Kuntke, F. et al.: Die GeoBox-Vision: Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. In: *Mensch und Computer 2020*, S. 1–6, 2020.
- [LPP19] Lavric, A.; Petrariu, A. I.; Popa, V.: Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis under Large-Scale, High-Density Conditions. In: *IEEE Access* Bd. 7, S. 35816–35825, 2019.
- [Li20] Liu, Y. et al.: From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. In: *IEEE Trans. Industrial Informatics* Bd. 3203, 2020.
- [Lo17] LoRa Alliance Technical Committee: LoRaWAN 1.1 Specification. In: *LoRaWAN 1.1 Specification*, Nr. 1.1, S. 101, 2017.
- [No18] Nolan, K.; Kelly, M.: IPv6 convergence for IoT cyber-physical systems. In: *Information (Switzerland)* Bd. 9, Nr. 4, 2018.
- [RKS17] Raza, U.; Kulkarni, P.; Sooriyabandara, M.: Low Power Wide Area Networks: An Overview. In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19.2, S. 855–873, 2017.
- [RSE19] Reuter, C.; Schneider, W.; Eberz, D.: Resilient Smart Farming (RSF) – Nutzung digitaler Technologien in krisensicherer Infrastruktur. In: *38. GIL-Jahrestagung: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen*, S. 177–182, 2019.
- [Ra16] Ratasuk, R. et al.: NB-IoT system for M2M communication. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, S. 2–6, 2016.
- [We20] Wernick, C. et al.: *Der deutsche Telekommunikationsmarkt im internationalen Vergleich – Abschlussbericht* –. Bad Honnef, 2020.