

Weitverkehrsfunk-Vernetzung für landwirtschaftliche Anwendungsfälle: LoRaWAN und NB-IoT für Unterflursensoren im Precision Farming

Maximilian Haverkamp¹, Alexander Grunwald¹, Clemens Westerkamp¹ und
Marco Schaarschmidt¹

Abstract: Dieser Beitrag vergleicht die Nutzbarkeit der Funkstandards Narrowband-IoT (NB-IoT) und Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) zur Datenübertragung von Sensoren, die in den Boden eingebracht sind. Zur Messung der Empfangsqualität wurde jeweils ein mit den Funktechnologien ausgestattetes Sensorboard in Tiefen von bis zu 60 cm in eine landwirtschaftliche Fläche eingebracht und wieder mit Erdreich bedeckt. Dabei wurden Signalstärke (RSSI) und Signal-Rausch-Abstand (SNR) ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl NB-IoT als auch LoRaWAN eine ausreichende Bodendurchdringung besitzen und damit eine zuverlässige Kommunikation mit Bodensensoren ermöglichen. Die Auswahl kann abhängig von der Komplexität des Anwendungsszenarios und dem Kostenaufwand erfolgen. Kombiniert mit einer energieeffizienten Elektronik und passender Bodensensorik sind bei vertretbarem Kostenrahmen neue Einsatzgebiete für Precision-Farming erschließbar.

Keywords: LoRa, NB-IoT, IoT, LoRaWAN, Bodensensor, Sensoren, Precision Farming

1 Einleitung

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Nutzbarkeit der Funkstandards Narrowband-IoT (NB-IoT) und Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) zur Datenübertragung von Unterflursensoren verglichen. Dabei wurden die in [GSW19] durchgeführten Messungen zur Bodendurchdringung von LoRaWAN in ähnlicher Weise für NB-IoT wiederholt. Die Einbringung von Sensoren in den Boden ist für Precision-Farming-Ansätze interessant, da bei passender Einbringtiefe die Sensoren auch während der Feldbewirtschaftung im Boden verbleiben können. Dies ermöglicht es, Daten kontinuierlich über mehrere Wachstumsperioden zu erfassen. Zunächst werden einige am Markt befindliche Sensorsysteme sowie die untersuchten Funktechnologien erläutert. Anschließend werden die ermittelten Werte in Bezug auf Feldstärken, Signalausabstände und erzielbare durchschnittliche Datenraten verglichen. Es werden außerdem Hinweise für die Auslegung energieeffizienter Feldsensorknoten gegeben.

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück, maximilian.haverkamp@hs-osnabrueck.de, a.grunwald@hs-osnabrueck.de, c.westerkamp@hs-osnabrueck.de, m.schaarschmidt@hs-osnabrueck.de

2 Stand der Technik

Im Folgenden werden die Funktechnologien sowie aktuelle Sensorsysteme vorgestellt.

2.1 Ground Truth Sensorsysteme

Ground Truth Sensorsysteme werden im Bereich Precision Farming eingesetzt. Sie sind mit verschiedenen Sensoren für Boden- und Zusatzwerte ausgestattet. Das aufwändigste System „Soil Probe“ von Teralytic arbeitet bis zu zwölf Monate mit 26 Sensoren für Bodenwerte, Mikroklima und Luftwerte [Te19]. Es wird z. B. im Mandelanbau in Kalifornien eingesetzt und kostet bei zehn Sensoren jährlich 5.000 \$. Einfachere Sensoren von Sensoterra erfassen Bodenfeuchte und -temperatur und arbeiten bis zu drei Jahre ohne Batteriewechsel [Se19]. Agvolution bietet ein modulares System mit wählbarer Sensorik [Ag19]. Bei den genannten Systemen liegen Systemteile über dem Boden und stellen ein Hindernis bei der Feldbewirtschaftung dar. Die in der vorliegenden Untersuchung genutzten Sensorknoten hingegen werden vollständig im Boden versenkt.

2.2 LPWAN Technologien LoRaWAN und NB-IoT

Die Abkürzung LPWAN steht für „Low Power Wide Area Network“. Diese Funktechnologien werden primär für IoT-Anwendungen verwendet. Sie bieten den Vorteil, dass sie auch bei geringem Stromverbrauch eine hohe Reichweite ermöglichen. Dadurch können Geräte auch über einen längeren Zeitraum ohne externe Stromversorgung betrieben werden. Die Reichweite ist auch bei geringem Energiebedarf groß und bietet so auch in ländlichen Gebieten eine zuverlässige Abdeckung.

Bei LoRaWAN handelt es sich um einen von der LoRa-Alliance veröffentlichten LPWAN Standard [Lo17]. In Mitteleuropa wird dieser als Community-basierende Variante „The Things Network“ (TTN) [TTN19] und in verschiedenen kommerziellen Varianten z. B. für Infrastrukturnetze von Energieversorgern eingesetzt [SWO19]. In beiden Fällen wird das lizenzfreie 868MHz-ISM-Frequenzband genutzt. Sendeleistung und zeitliche Auslastung sind auf 25 mW Sendeleistung und 36 Sekunden pro Stunde Sendezeit begrenzt. Beide LoRaWAN-Varianten können bei verringerter Feldstärke (höherer Entfernung) die Modulation durch Anwendung eines Spreizfaktors SF anpassen. Dabei schwanken die Datenraten zwischen 11 kBit/s und 0,25 kBit/s. Interessanter als die aktuelle Datenrate ist die pro Stunde übertragbare Datenmenge. Sie liegt beim kommerziellen LoRaWAN bei gutem Signal (Spreizfaktor SF7) bei 24 kByte/h. Bei einem Spreizfaktor SF10 sind hingegen nur noch 4,4 kByte/h möglich. Für das Community-basierende TTN gilt aufgrund der begrenzten zeitlichen Auslastung des Funkkanals, welche auch für die Gateways gilt die „Fair Access Policy“, bei der pro Sensor der Funkkanal maximal 30 Sekunden pro Tag belegt werden darf [Ar16]. Damit sind 0,15kByte/h bei SF10 und 1,7 kByte/h bei SF7 möglich. Selbst die bei SF10 erreichte

Datenrate reicht bei einem Overhead von 60 % ohne Kompression, um die Daten von acht 16 Bit-Kanälen im 15 Minuten-Takt zu übertragen. LoRaWAN verschlüsselt Daten Ende zu Ende. In städtischen Gebieten beträgt die Reichweite ca. 5 km, in ländlichen bis zu 20 km [Lo17].

NB-IoT ist ein LPWAN-Standard in vorhandenen Mobilfunknetzen und erlaubt verschlüsselte IoT-Kommunikation mit Sendeleistungen bis 200 mW und Datenraten bis 159 kBit/s. Im ländlichen Raum beträgt die Reichweite bis zu 10 km. Durch den Betrieb in lizenzierten LTE-Bändern ist es besser vor Interferenz geschützt als andere in unlizenzierten betriebene Technologien. Zudem existieren keine regulatorischen Beschränkungen bezüglich der Sendezeit. So können bis zu 71,5 Mbyte/h übertragen werden [3G16].

3 Verwendete Hardware

Das für LoRaWAN verwendete Hardware-System mit einem ESP32 ist in [GSW19] näher beschrieben. Für die NB-IoT-Messung wurde ein Entwicklungsboard mit einer Ultra-Low-Power-CPU STM32LO81CZ eingesetzt [ST19]. Diese zeichnet sich durch geringe Stromaufnahmen in verschiedenen Sleep-Modi aus. Ein Beispielsensor mit niedriger Datenrate ist über I²C angeschlossen. Für die Verbindung zum NB-IoT-Netz wird das Simcom SIM7000E Modem mit aufklebbarer Antenne eingesetzt [SI18]. Die Stromaufnahme liegt bei ausgeschaltetem Modem unter 1^omA, mit eingebuchtem Modem bei 66^omA und während des Sendens bei 200^omA.

NB-IoT-Sensorknoten für den Agrareinsatz sind noch wenig verbreitet. Ein NB-IoT-Temperatur- / Luftfeuchtesensor ist für ca. 85 Euro erhältlich und benötigt eine SIM-Karte mit 10 Jahren Laufzeit und 500MByte Datenvolumen für ca. 10 Euro. Je nach Anbieter ist so eine Netzabdeckung von über 90 % (Fläche) in Deutschland vorhanden. Bei LoRaWAN liegt der Kostenaufwand für ein Outdoor-Gateway und die Installation bei ca. 800 Euro. Ein vergleichbares System auf Basis von LoRaWAN ist für 75 Euro erhältlich.

4 Messung der Bodendurchdringung

Der Messaufbau wurde aus [GSW19] übernommen. Hierbei wurde die Elektronik in Tiefen von 10 cm bis hin zu 60 cm vergraben. Die Löcher wurden vor jeder Messung erneut mit Erdreich bedeckt und verfestigt. Für die unterschiedlichen Bodentiefen wurden im LTE-Band 8 (DL: 925-960 MHz, UL: 880-915 MHz) die Empfangssignalstärke (RSSI) und der Signalrauschabstand (SINR) ermittelt [Ni19]. Dabei war die Basisstation ca. 5,5 km entfernt.

5 Gegenüberstellung der Messwerte von LoRaWAN und NB-IoT

In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die Ergebnisse aus einer vorangegangenen Messung [GSW19] für den Einsatz von LoRaWAN für Unterflursensoren im Vergleich zu denen von NB-IoT dargestellt.

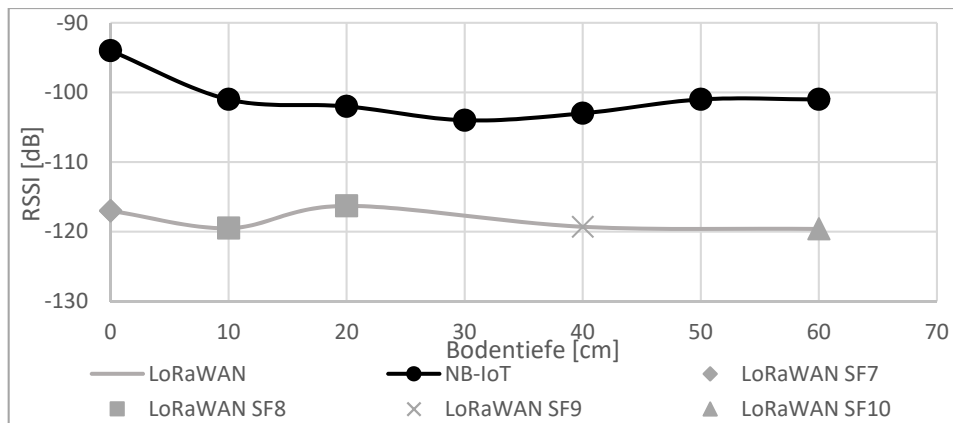


Abb. 1: Verlauf der Empfangsleistung (RSSI) von LoRaWAN und NB-IoT

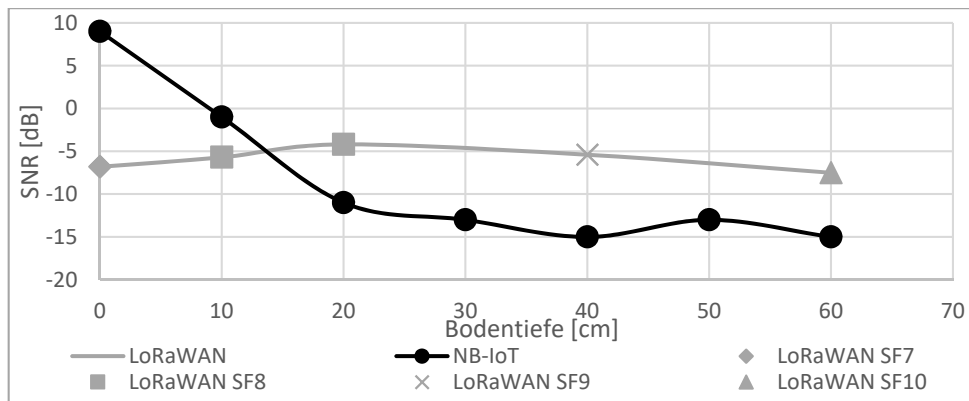


Abb. 2: Verlauf des Signalrauschverhältnis von LoRaWAN und NB-IoT

Da die Messungen an unterschiedlichen Standorten mit verschiedenen Bodenarten und unter anderen Wetterbedingungen durchgeführt wurden, ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Dennoch können die Daten auf Gemeinsamkeiten untersucht werden. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** fällt auf, dass die Signalstärke (RSSI) bei beiden Technologien zunächst abnimmt, um dann kurzfristig wieder zuzunehmen. Allerdings treten diese Zunahmen in unterschiedlichen Tiefen auf. Bei beiden ist ein klarer Verlust beim Übergang von Luft zum Erdreich erkennbar.

Das Signalrauschverhältnis lässt sich nur bedingt vergleichen, da unterschiedliche Messverfahren zugrunde liegen. LoRaWAN reagiert bei größeren Entfernungen durch den Spreizfaktor (SF) robust auf Verschlechterung des Signalrauschverhältnisses (SNR).

6 Energiebetrachtungen für zukünftige Feldsensorknoten

Die vorgestellte Hardware basiert auf Entwickler-Boards und ist nicht auf Energieeffizienzanforderungen optimiert. Bei der Auslegung und Gestaltung eines praxisnahen Systems ergeben sich höhere Anforderungen an einen niedrigen Energieverbrauch, um autonom über mehrere Jahre arbeiten zu können. Hauptverbraucher sind die Funkschnittstellen und die verwendeten Funkstandards. LoRaWAN und NB-IoT sind für IoT-Anwendungen optimiert und haben aufgrund ihrer Protokolle unterschiedlichen hohen Energiebedarf. LoRaWAN nutzt asynchrone Kommunikation und ein Sensorknoten kann unbestimmte Zeit im Ruhemodus verbleiben, was positiv für den Energiebedarf sein kann. NB-IoT hingegen erfordert eine regelmäßige Synchronisation. Außerdem erfordern die bei NB-IoT verwendeten Modulationsverfahren mehr Energie als die lineare Modulation bei LoRaWAN. Für Agraranwendungen sind Vorteile von NB-IoT, nämlich geringere Latenzen und eine höhere Datenrate, weniger relevant.

Innerhalb der Sensorknoten-Software haben einige Module erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf. Er wird u.a. beeinflusst durch

- die Ansteuerung der Kommunikationsschnittstellen und Sensoren,
- ggf. die Verschlüsselung der Kommunikation,
- die Systemstatusverwaltung und
- die (Vor-)Verarbeitung, Filterung und Auswertung der Daten.

Um den Prozessor möglichst häufig in energieoptimierten Modi betreiben zu können, wird das EVAS-Muster (Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe-Schlafen) vorgeschlagen [Sc18]. Die erforderliche Datenmenge wird durch Filterung und Kompression reduziert. Dies ist bei Messgrößen wie Temperatur und Bodenfeuchte unkritisch und auch eine leicht verzögerte Übertragung kann toleriert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl NB-IoT als auch LoRaWAN zur Datenübertragung für Unterflursensoren geeignet sind, da sie auch bei 60 cm Tiefe über eine gute Bodendurchdringung verfügen. NB-IoT nutzt ein in weiten Teilen Deutschlands vorhandenes kostenpflichtiges Netz und kann für einfache Sensoranwendungen mit geringer Sensorzahl sinnvoll eingesetzt werden.

Für größere Aufbauten mit umfangreicher verteilter Sensorik lohnt sich eine eigene LoRaWAN-Infrastruktur. Dabei werden ein zentraler Standort (landwirtschaftlicher Betrieb) mit meist ohnehin vorhandenem Internet-Anschluss und ggf. weitere verteilt liegende Betriebsgebäude als Gateway-Standort genutzt.

Die betrachteten Energieeinsparoptionen sollten bei der Entwicklung der Elektronik von Feldsensoren mit langer Einsatzdauer berücksichtigt werden. Zudem muss der Einfluss unterschiedlicher Böden auf die Signalparameter untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- [3G16] 3GPP: 3GPP TR 36.802 V13.0.0 (2016-06) (NB-IOT); (Release 13). <https://tinyurl.com/3GPP-Nb-IoT>, 05.11.2019.
- [Ag19] Agvolution: Agvolution. <https://agvolution.com/>, 05.11.2019.
- [Ar16] Arjan van Bentem: The Things Network - Limitations: data rate, packet size, 30 seconds uplink and 10 messages downlink per day Fair Access Policy. <http://tinyurl.com/TTN-limitations>, 06.11.2019.
- [GSW19] Grunwald, A.; Schaarschmidt, M.; Westerkamp, C.: LoRaWAN in a rural context: Use cases and opportunities for agricultural businesses. In (VDE ITG Hrsg.): Mobilkommunikation Technologie und Anwendungen Vorträge der 24. ITG-Fachtagung, 2019.
- [Lo17] LoRa Alliance (LoRa): LoRaWAN 1.1 Specification. <https://tinyurl.com/lora-specs>, 05.11.2019.
- [Ni19] Niviuk: LTE frequency band. http://niviuk.free.fr/lte_band.php, 05.11.2019.
- [Sc18] Schaarschmidt, M. et al.: Energieeffiziente Entwurfsmuster für das Internet der Dinge - Möglichkeiten und Perspektiven für Single- und Multicore: Embedded Software Engineering Kongress. Vortrag und Veröffentlichung im Tagungsband, Sindelfingen, 2018; S. 511–522.
- [Se19] Sensoterra: Sensoterra. <https://sensoterra.com/>, 05.11.2019.
- [SI18] SIMCOM: SIM7000E. <https://simcom.ee/modules/iot/sim7000e/>, 05.11.2019.
- [ST19] STMicroelectronics: STM32L081CZ Access line ultra-low-power 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M0+. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l081cz.pdf>, 05.11.2019.
- [SW19] SWO Netz GmbH (SWO): Informationen zum LoRaWAN-Funknetz in Osnabrück. <https://www.swo-netz.de/netze-technik/telekommunikationsnetz/lorawan.html>, 05.11.2019.
- [Te19] Teralytic: Teralytic - A Soil Health Company. <https://teralytic.com/>, 05.11.2019.
- [TTN19] The Things Network: LoRaWan -The Things Network. <https://www.thethingsnetwork.org/>, 05.11.2019.