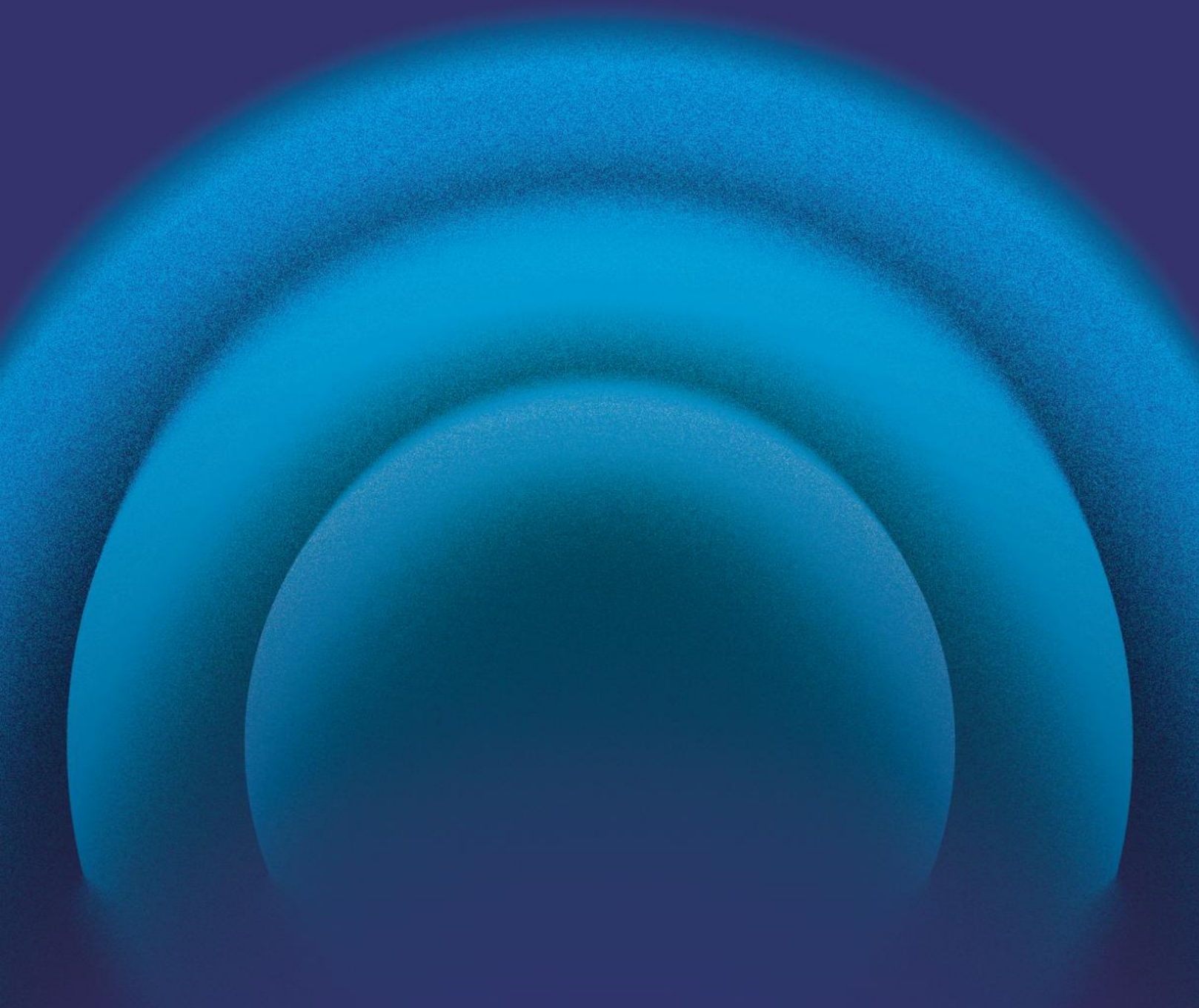
Lakeside Labs
SELF-ORGANIZING NETWORKED SYSTEMS

Drahtlose Kommunikations-technologien



Auswahl, Evaluierung und Einsatz

Ein praxisorientierter Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen

dih-sued.at

Vorwort DIH SÜD

DIHSÜD
Digital Innovation Hub





Martina Eckerstorfer



Stefan Schafranek

Sehr geehrte Unternehmer:innen, liebe Mitarbeiter:innen kleiner und mittlerer Unternehmen!

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen oft vor der Herausforderung, notwendige Innovationen mit dem Tagesgeschäft in Einklang zu bringen. Viele Unternehmer:innen haben zukunftsweisende Ideen, doch die Umsetzung von Innovationen erfordert oft einen erheblichen Aufwand an Zeit, Ressourcen und finanziellen Mitteln. Daher werden viele neue Ansätze leider nicht weiterverfolgt und umgesetzt.

Digitale Innovation ist ein entscheidender Faktor für den Erfolg von Unternehmen, insbesondere im Produktionsumfeld. Sie ermöglicht die Schaffung neuer oder verbesserter Produkte, Dienstleistungen, Prozesse und Geschäftsmodelle durch den gezielten Einsatz digitaler Technologien und Strategien.

Genau hier setzt der Digital Innovation Hub Süd (DIH SÜD) mit seinen Aktivitäten an. Das Kompetenznetzwerk unterstützt KMU bei ihren Digitalisierungsmaßnahmen durch kostenlose Informationen und Schulungen.

Auch dieses Handbuch wurde im Rahmen des DIH SÜD-Programms gemeinsam mit unserem Kooperationspartner Lakeside Labs GmbH entwickelt. Er bietet einen Überblick über Technologien für die drahtlose Kommunikation im industriellen Umfeld. Anhand konkreter Anwendungsfälle werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Technologien aufgezeigt. Nutzen Sie dieses Handbuch, um zu entscheiden, welche Technologie für Ihr Unternehmen am besten geeignet ist. Denn nur mit der richtigen Kommunikationstechnologie können kleine und mittlere Unternehmen ihre Produktion optimal vernetzen und so die Produktivität optimieren und nachhaltiger wirtschaften.

Wir danken der Forschungseinrichtung Lakeside Labs für die sehr gelungene Umsetzung dieses Handbuchs und wünschen Ihnen, liebe Innovator:innen, viel Freude bei der Anwendung und Umsetzung in Ihrem Unternehmen.

Gerne können Sie auch an unserem kostenlosen DIH SÜD-Schulungen teilnehmen, um weitere Ideen und Inspirationen für Ihre Digitalisierungsprojekte zu erhalten.

Vorwort der Geschäftsführung Lakeside Labs GmbH

Liebe Leser:innen!

Die digitale Transformation verändert die Industrie rasant. Durch den Einsatz drahtloser Technologien entstehen neue Möglichkeiten in Produktion und Fertigung. Unternehmen, die diese Entwicklungen nutzen, treiben Innovationen voran und verbessern Leistung, Produktivität und Nachhaltigkeit.

Das Internet der Dinge (IoT) und cyber-physische Systeme (CPS) fördern die Digitalisierung der Industrie und erhöhen die Flexibilität von Produktion, Logistik und Wartung. Sensorbasierte Lösungen verbessern zudem die Energie- und Ressourceneffizienz und leisten einen Beitrag zur Reduzierung der CO2-Emissionen und zum Klimaschutz. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die drahtlose Kommunikation: Günstige, leicht nachrüstbare drahtlose Sensoren ohne aufwendige Verkabelung helfen, bisher ungenutzte Potenziale zu erschließen.

Durch den Einsatz drahtloser Technologien können KMU nicht nur ihre betrieblichen Fähigkeiten verbessern, sondern auch zur Entwicklung intelligenter industrieller Netzwerke beitragen. Da sich diese Trends weiter fortsetzen, werden sich KMU, können KMU, die solche Innovationen nutzen, sich voraussichtlich von der Konkurrenz abheben, ihr Wachstum stärken und die Industrie insgesamt wettbewerbsfähiger machen.

Wichtige Treiber für das Wachstum von KMU im Bereich industrieller drahtloser Lösungen:

- **Kosteneffizienz:** Drahtlose Technologien bieten eine kostengünstige Möglichkeit, Prozesse zu automatisieren und die Abhängigkeit von komplexen kabelgebundenen Systemen zu verringern und somit die betriebliche Effizienz von KMU zu steigern.
- **Gesteigerte Produktivität:** Durch die Implementierung von Wireless-Lösungen können KMU ihre Abläufe rationalisieren, den Workflow verbessern und Ausfallzeiten reduzieren. Dies führt zu einer gesteigerten Produktivität, sodass Unternehmen ihre Leistung ohne erhebliche Kapitalinvestitionen maximieren können.

Lakeside Labs
SELF-ORGANIZING NETWORKED SYSTEMS



Claudia Prüggler

- → **Verbesserter Kundenservice:** Drahtlose Technologien ermöglichen eine bessere Kommunikation und einen besseren Datenzugriff, was den Kundenservice erheblich verbessern kann. KMU können schneller auf Kundenanfragen reagieren und die Auftragsabwicklung optimieren.
- → **Benutzerfreundliche Lösungen:** Die Verfügbarkeit kostengünstiger, benutzerfreundlicher drahtloser Technologien hat es KMU einfacher gemacht, diese Innovationen zu übernehmen. Viele drahtlose Lösungen sind speziell für kleine Unternehmen konzipiert und erfordern nur minimale technische Kenntnisse für die Implementierung.
- → **Skalierbarkeit:** Drahtlose Lösungen sind oft skalierbar, sodass KMU klein anfangen und ihre technologische Infrastruktur nach Bedarf erweitern können. Diese Flexibilität ist für kleinere Unternehmen mit schwankendem Bedarf von entscheidender Bedeutung.

Dieses Handbuch ist ein praktischer Leitfaden um drahtlose Technologien für industrielle Anwendungen kennenzulernen.

Besonderer Dank gilt unseren Forscher:innen: Dr. Samira Hayat, die das Handbuch koordiniert und referiert hat; Dr. Christian Raffelsberger, Dr. Andreas Kercek, Denis Chernov und Milan Ilic, die an der Erstellung und Überarbeitung der Technologieprofile mitgewirkt und an den Anwendungsfällen gearbeitet haben. Dr. Verena Venek, die die Überarbeitung und Übersetzung, sowie den Druck des Handbuchs vorgenommen hat.

Ich möchte mich auch bei DIH Süd und allen Finanzierungspartner:innen bedanken, die dieses Handbuch ermöglicht haben und es uns erlauben, diese Erkenntnisse mit der Öffentlichkeit zu teilen.

Viel Spaß beim Lesen!

Inhalt

01 Vorgehensmodell zur Technologieauswahl — Seite 10

02 Überblick über ausgewählte drahtlose Kommunikationstechnologien — Seite 12

03 LoRa und LoRaWAN — Seite 16

04 Ultra Wideband (UWB) — Seite 20

05 5G — Seite 26

06 Entscheidungshilfe: Welche drahtlose Technologie für welchen Use Case? Seite 30

07 Praxisbeispiele aus Projekten der Lakeside Labs Seite 34

08 Anwendungsfall 1 eologix Seite 36

09 Anwendungsfall 2 Spalt & Messfeld Seite 42

10 Abschluss und Ausblick Seite 48

Einleitung & Zielsetzung



Die digitale Transformation eröffnet kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) vielfältige Möglichkeiten, industrielle Prozesse effizienter, transparenter und flexibler zu gestalten. Eine zentrale Rolle spielen dabei drahtlose Kommunikationstechnologien, die den Austausch von Daten zwischen Maschinen, Sensoren, Fahrzeugen und IT-Systemen ermöglichen – oft in Echtzeit und unter anspruchsvollen Rahmenbedingungen.

Gleichzeitig stehen KMU bei der Auswahl geeigneter Funktechnologien vor erheblichen Herausforderungen. Der Markt bietet eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen, die sich in Reichweite, Datenrate, Energieverbrauch, Latenz, Infrastrukturaufwand und Kosten deutlich unterscheiden. Fehlentscheidungen in frühen Projektphasen können zu hohen Investitionen, unzureichender Systemleistung oder mangelnder Skalierbarkeit führen.

Dieses Handbuch unterstützt KMU dabei, fundierte und anwendungsorientierte Entscheidungen im Bereich drahtloser Kommunikation zu treffen. Es bündelt das Fachwissen der Lakeside Labs GmbH, einer unabhängigen Forschungseinrichtung, und basiert auf Erfahrungen aus zahlreichen gemeinsamen Projekten mit Industriepartnern. Der Fokus liegt dabei nicht auf der vollständigen technischen Beschreibung einzelner Funkstandards, sondern auf deren praxisnaher Einordnung für industrielle Anwendungsfälle.

Ziel des Leitfadens ist es:

- → ein grundlegendes Verständnis ausgewählter drahtloser Kommunikationstechnologien zu vermitteln,
- → typische Stärken und Einschränkungen dieser Technologien transparent darzustellen,
- → KMU bei der strukturierten Auswahl einer geeigneten Lösung zu unterstützen,
- → und anhand realer Praxisbeispiele zu zeigen, wie Technologien getestet, bewertet und eingesetzt werden können.

Der Leitfaden betrachtet exemplarisch die Technologien Long Range (LoRa/LoRaWAN), Ultra Wideband (UWB) und 5G, da diese jeweils unterschiedliche Klassen drahtloser Kommunikation repräsentieren und in industriellen Kontexten zunehmend an Bedeutung gewinnen. Ergänzt wird dieser Überblick durch eine Entscheidungshilfe sowie ausgewählte Praxisbeispiele aus Projekten der Lakeside Labs.

Sollten während Ihrer Lektüre Fragen oder Ideen für Kooperationen aufkommen, scheuen Sie sich bitte nicht, uns direkt zu kontaktieren:

Forschungsmanagement der Lakeside Labs GmbH
Lakeside B04b
9020 Klagenfurt am Wörthersee
office@lakeside-labs.com
lakeside-labs.com

01 Vorgehensmodell zur Technologie-auswahl

01 Vorgehensmodell zur Technologieauswahl

Im ersten Schritt wird der industrielle Anwendungsfall detailliert erfasst und beschrieben. Ziel ist es, die tatsächlichen fachlichen, technischen und wirtschaftlichen Anforderungen klar zu formulieren – unabhängig von konkreten Technologien.

Typische Fragestellungen sind unter anderem:

- → Welche Daten müssen erfasst und übertragen werden?
- → Wie häufig und in welcher Datenmenge erfolgt die Übertragung?
- → Welche Anforderungen bestehen an Latenz, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit?
- → In welcher Umgebung wird das System betrieben (Innenbereich, Außenbereich, Metallumgebung, Störeinflüsse)?
- → Bestehen Einschränkungen hinsichtlich Energieversorgung, Kosten oder IT-Infrastruktur?

Eine saubere Anforderungsanalyse bildet die Grundlage für alle weiteren Schritte und verhindert, dass technologische Lösungen gesucht werden, bevor der eigentliche Bedarf klar definiert ist.

---

02 Technologie-bewertung

Auf Basis der erhobenen Anforderungen erfolgt eine erste Bewertung geeigneter drahtloser Kommunikationstechnologien. In diesem Schritt werden Technologien gegenübergestellt und qualitativ eingeordnet – beispielsweise hinsichtlich:

- → Reichweite,
- → Datenrate,
- → Energieverbrauch,
- → Latenz,
- → Skalierbarkeit,
- → Infrastruktur und Betriebsaufwand.

Ziel dieser Phase ist es nicht, eine endgültige Entscheidung zu treffen, sondern die Anzahl möglicher Technologien auf eine überschaubare Auswahl zu reduzieren. Häufig zeigt sich bereits hier, dass bestimmte Technologien aufgrund grundlegender Eigenschaften nicht zum Anwendungsfall passen.

Die Auswahl einer geeigneten drahtlosen Kommunikationstechnologie sollte systematisch und anwendungsgetrieben erfolgen. Die Erfahrung aus Industrie und Forschungsprojekten zeigt, dass eine strukturierte Vorgehensweise wesentlich dazu beiträgt, Risiken zu reduzieren und nachhaltige Lösungen zu entwickeln.

Die Lakeside Labs verfolgen hierbei ein vierstufiges Vorgehensmodell, das sich in unterschiedlichen industriellen Kontexten bewährt hat und KMU als Orientierung dient:

03 Evaluierung und Tests

Im dritten Schritt werden die ausgewählten Technologien praktisch erprobt und evaluiert. Dies kann in Form von Labortests, Feldversuchen oder Pilotinstallationen erfolgen. Unter realistischen Rahmenbedingungen wird unter anderem folgendes bewertet:

- → Stabilität der Funkverbindung,
- → Paketverlustraten und Latenzen,
- → Robustheit gegenüber Störungen,
- → Energieverbrauch,
- → Integrationsaufwand in bestehende Systeme.

Gerade in industriellen Umgebungen weichen reale Bedingungen häufig von theoretischen Annahmen ab. Eine strukturierte Evaluierung reduziert das Risiko, dass eine Technologie im späteren Betrieb nicht die erwartete Leistung erbringt.

---

04 Technologieauswahl und Integration

Auf Basis der Evaluationsergebnisse wird schließlich die am besten geeignete Technologie ausgewählt und in eine konkrete Lösung integriert. Dieser Schritt umfasst typischerweise:

- → die Feinabstimmung von Parametern,
- → die Auswahl geeigneter Hardware und Softwarekomponenten,
- → die Integration in bestehende IT- und OT-Systeme,
- → sowie gegebenenfalls iterative Anpassungen.

In der Praxis ist die Technologieauswahl selten ein einmaliger, linearer Prozess. Rückkopplungen zu früheren Schritten – etwa aufgrund neuer Erkenntnisse aus Tests – sind normal und Teil eines erfolgreichen Vorgehens.

Rolle der Lakeside Labs

Die Lakeside Labs begleiten KMU entlang dieses gesamten Prozesses – von der Anforderungsanalyse über den Technologievergleich bis hin zur experimentellen Evaluierung und prototypischen Umsetzung. Als unabhängige Forschungseinrichtung bieten sie eine technologieoffene und praxisnahe Unterstützung, insbesondere bei komplexen oder neuartigen Anwendungsfällen.

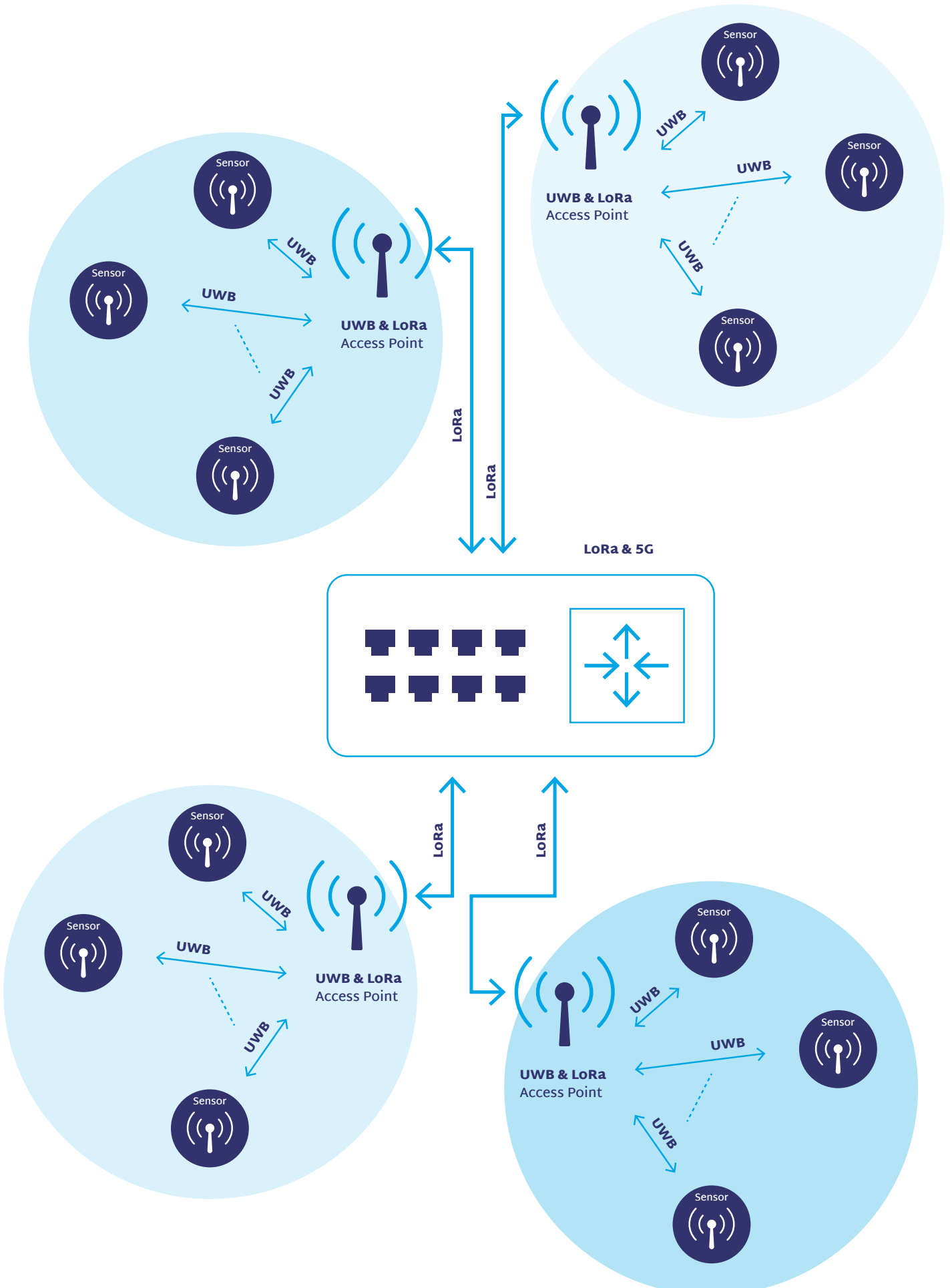
Das in diesem Leitfaden vorgestellte Vorgehensmodell dient als strukturierte Orientierung. In den folgenden Kapiteln wird es anhand konkreter Technologien und Praxisbeispiele weiter vertieft und mit realen Projekterfahrungen untermauert.

02 Überblick über ausgewählte drahtlose Kommunikations-technologien

Die Auswahl der geeigneten drahtlosen Kommunikationstechnologie ist ein zentraler Schritt bei der Digitalisierung industrieller Prozesse. Unterschiedliche Anwendungen stellen sehr unterschiedliche Anforderungen – etwa an Reichweite, Datenrate, Energieverbrauch, Latenz oder Lokalisierungsgenauigkeit. Es gibt daher keine „eine“ optimale Technologie, sondern vielmehr technologiespezifische Lösungen für klar abgegrenzte Einsatzszenarien.

In diesem Kapitel geben wir einen Überblick über drei ausgewählte drahtlose Kommunikationstechnologien, die in industriellen Anwendungen für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) besonders relevant sind: LoRa/LoRaWAN, UWB und 5G. Diese Technologien unterscheiden sich grundlegend in ihren technischen Eigenschaften, ihrer Komplexität und ihren typischen Einsatzfeldern – ergänzen sich jedoch in vielen Digitalisierungsstrategien.

Ziel dieses Kapitels ist es, KMU eine verständliche und vergleichbare Einordnung dieser Technologien zu ermöglichen. Für jede Technologie werden die grundlegenden Eigenschaften, typische Stärken und Einschränkungen sowie geeignete Anwendungsfelder dargestellt.


Sensor
Sensor
Sensor
UWB
UWB
UWB
UWB & LoRa
Access Point
Sensor
Sensor
Sensor
UWB
UWB
UWB
UWB & LoRa
Access Point
LoRa
LoRa
LoRa & 5G
Sensor
Sensor
Sensor
UWB
UWB
UWB
UWB & LoRa
Access Point
LoRa
LoRa
Sensor
Sensor
Sensor
UWB
UWB
UWB
UWB & LoRa
Access Point





03 LoRa und LoRaWAN

Großräumige und energieeffiziente Sensornetze

LoRa (Long Range) ist eine drahtlose Kommunikationstechnologie, die speziell für Anwendungen im Internet der Dinge (IoT) entwickelt wurde. Sie ermöglicht die energieeffiziente Übertragung kleiner Datenmengen über große Entfernungen und eignet sich damit besonders gut für industrielle Anwendungen mit vielen, oft batteriebetriebenen Sensoren – sowohl im Innen- als auch im Außenbereich.

> LoRa selbst beschreibt die physikalische Funkübertragung (Modulation), während **LoRaWAN** (LoRa Wide Area Network) als darüberliegendes Kommunikationsprotokoll definiert, wie Geräte miteinander kommunizieren. LoRaWAN regelt unter anderem den Netzzugang, das Nachrichtenformat, Sicherheitsmechanismen sowie die Anbindung an zentrale IT- oder Cloud-Systeme. In industriellen Szenarien ermöglicht LoRaWAN damit die strukturierte Erfassung, Weiterleitung und Auswertung von Sensordaten.

Beide Technologien gehören zur Klasse der **Low Power Wide Area Networks** (LPWAN). Diese Netzwerke sind darauf ausgelegt, eine große Reichweite mit sehr geringem Energieverbrauch zu kombinieren – bei bewusst niedrigen Datenraten. Typische Einsatzfelder in KMU sind Zustandsüberwachung, Umwelt- und Prozessmonitoring, einfache Automatisierungsaufgaben oder die Erfassung von Verbrauchs- und Betriebsdaten.

Zentrale Eigenschaften

Die Leistungsfähigkeit von LoRa ergibt sich aus der flexiblen Konfiguration von Funkparametern. Diese erlauben es, Reichweite, Datenrate und Energieverbrauch an den jeweiligen Anwendungsfall anzupassen:

- → **Reichweite:** Mehrere Kilometer in Außenbereichen (bis zu ca. 15 km in ländlichen Umgebungen), einige Kilometer in städtischen Gebieten; im Innenbereich abhängig von Gebäude- und Störfaktoren
- → **Datenrate:** Sehr niedrig (vom einstelligen Bit-pro-Sekunde-Bereich bis hin zu einigen 10 kbit/s)
- → **Energieverbrauch:** Sehr gering, wodurch Batterielaufzeiten von mehreren Jahren möglich sind
- → **Topologie:** Sternförmige Netzstruktur mit Endgeräten, Gateways und einem zentralen Netzwerkserver

LoRa wird vorwiegend in lizenzfreien Frequenzbändern unterhalb von 1 GHz eingesetzt (z. B. 868 MHz in Europa), was große Reichweiten ermöglicht. Zusätzlich existiert eine 2,4 GHz-Variante, die weltweit genutzt werden kann und höhere Datenraten bietet, jedoch mit deutlich geringerer Reichweite.

Technischer Überblick

PARAMETER	WERTE (sub-GHz)	WERTE (2,4-GHz)
Frequenzband	868, 433, 915, 779, 470 MHz	2400 MHz
Bandbreite	{7.8,10.4,15.6,20.8,31.2,41.7,62.5, 125,250,500} kHz	{203,406,812,1625} kHz
Effektive Datenrate	21 bps - 35 kbps (Duty cycle 0.21 bps – 352 bps)	428 bps - 196 kbps
Maximale Reichweite	15 km (ländlich), 5km (urban)	2,7 km (ländlich), 443 m (urban), 110 m (innen)
Modulationsschema	LoRa	LoRa
Skalierbarkeit, Sicherheits-mechanismen und Mobilitätsunterstützung	LoRaWAN (ja) LoRa (zusätzliche Implementierung erforderlich)	

Netzwerkarchitektur und Betrieb

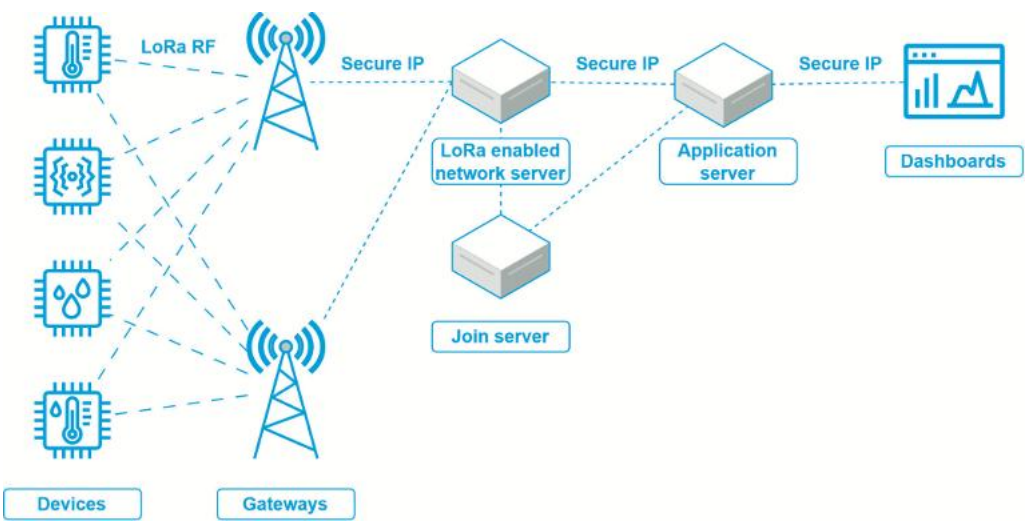
Ein typisches LoRaWAN-Netz besteht aus:

- → **Endgeräten** (Sensoren oder Aktoren),
- → **Gateways,** die Funksignale empfangen und weiterleiten,
- → **einem LoRaWAN-Netzwerkserver,** der die Kommunikation verwaltet**,**
- → **sowie einem Anwendungsserver,** auf dem die Daten verarbeitet und genutzt werden.

KMU haben dabei verschiedene Möglichkeiten für den Betrieb:

- → Nutzung eines **öffentlichen LoRaWAN-Netzes** über einen Dienstanbieter,
- → Aufbau eines **eigenen privaten Netzes** mit eigenen Gateways,
- → oder **hybride Modelle**, die beide Ansätze kombinieren.

LoRaWAN bietet zudem integrierte Sicherheitsmechanismen (u. a. Ende-zu-Ende Verschlüsselung) sowie verschiedene Gerätemodi, die es erlauben, Energieverbrauch und Reaktionszeiten an den jeweiligen Anwendungsfall anzupassen.



Einordnung für KMU

LoRa und LoRaWAN eignen sich besonders für Anwendungen, bei denen:

- → viele verteilte Messpunkte angebunden werden sollen,
- → lange Batterielaufzeiten wichtig sind,
- → nur kleine Datenmengen übertragen werden müssen,
- → keine Echtzeitkommunikation erforderlich ist.

Nicht geeignet ist die Technologie hingegen für Anwendungen mit hohen Datenraten, s ehr geringer Latenz oder kontinuierlicher bidirektionaler Kommunikation.

Info

LoRa und das darauf aufbauende Netzwerkprotokoll LoRaWAN gehören zur Klasse der Low Power Wide Area Networks (LPWAN). Sie ermöglichen die energieeffiziente Übertragung kleiner Datenmengen über große Entfernungen und eignen sich besonders für batteriebetriebene Sensoren mit langen Laufzeiten. Typische Einsatzbereiche sind Zustandsüberwachung, Umwelt- und Prozessmonitoring sowie einfache Automatisierungsaufgaben mit geringer Datenrate. LoRa/LoRaWAN stellt damit eine kosteneffiziente Lösung für großflächige, nicht zeitkritische industrielle Anwendungen dar.



Dr. Christian Raffelsberger
Senior Researcher bei Lakeside Labs

LoRa hat sich aufgrund seiner weitreichenden, stromsparenden Kommunikationsfähigkeiten zu einer weit verbreiteten Technologie in IoT-Anwendungen entwickelt und ist damit zu einer Grundlagentechnologie in Bereichen wie Smart Cities, Landwirtschaft und Umweltüberwachung geworden. Aus wissenschaftlicher Sicht bietet es jedoch ein beträchtliches Innovationspotenzial, insbesondere hinsichtlich der Verbesserung der Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit in komplexen Umgebungen. Wir haben dieses Potenzial untersucht, indem wir LoRa in einer industriellen IoT-Umgebung in einem Chemiewerk getestet haben, wo die Herausforderungen durch Interferenzen, strukturelle Hindernisse und dynamische Bedingungen ein anspruchsvolles Umfeld für die Bewertung boten. Diese Mischung aus praktischem Nutzen und Forschungspotenzial macht LoRa zu einem spannenden Bereich für weitere Untersuchungen.

04 Ultra Wideband (UWB)

Präzise Ortung und zeitkritische Kommunikation im Innenbereich

Ultra Wideband (UWB) ist eine drahtlose Kommunikationstechnologie, die sich durch eine extrem große Bandbreite und sehr kurze Sendeimpulse auszeichnet. Im Gegensatz zu klassischen Schmalband-Funktechnologien nutzt UWB ein sehr breites Frequenzspektrum, wodurch sich besondere Eigenschaften in Bezug auf Genauigkeit, Latenz und Robustheit ergeben. Heute wird UWB vor allem für Anwendungen mit hohen Anforderungen an Ortungsgenauigkeit und Reaktionszeit eingesetzt – insbesondere im Innenbereich.

UWB ist keine neue Technologie: Erste Konzepte reichen bis zu den Anfängen der Funkkommunikation zurück. Aufgrund regulatorischer Einschränkungen war UWB jedoch lange Zeit auf militärische und sicherheitskritische Anwendungen beschränkt. Erst mit Fortschritten in der Mikroelektronik, Signalverarbeitung und Standardisierung wurde UWB ab den 2000er-Jahren für kommerzielle Anwendungen nutzbar. Die Freigabe lizenzfreier Frequenzbereiche durch Regulierungsbehörden (z. B. FCC in den USA und ECC in Europa) legte den Grundstein für den heutigen Einsatz in Industrie, Logistik und Konsumgütern.

Zentrale Eigenschaften

UWB ist besonders für **kurzreichweitige, zeitkritische Anwendungen** geeignet. Typische Merkmale sind:

- → **Sehr hohe zeitliche Auflösung** durch kurze Impulse
- → **Extrem niedrige Latenz** (im Bereich weniger hundert Mikrosekunden)
- → **Hohe Übertragungszuverlässigkeit** auch in komplexen Innenräumen
- → **Zentimetergenaue Distanz- und Positionsbestimmung**
- → **Gute Koexistenz** mit bestehenden Funktechnologien (z. B. Wi-Fi, Bluetooth)

Die Datenübertragung erfolgt über mehrere hundert Megahertz Bandbreite im Frequenzbereich von mehreren Gigahertz. Aufgrund der kurzen Reichweite (typisch < 30 m) und der distanzabhängig sinkenden Datenrate ist UWB nicht für großflächige Sensornetze gedacht, sondern für **lokal begrenzte, präzise Interaktionen**.

Technischer Überblick

Die wichtigsten technischen Kenndaten von UWB zusammengefasst.

PARAMETER	TYPISCHE WERTE
Frequenzband	3,5 – 8 GHz
Bandbreite	≥ 500 MHz
Effektive Datenrate	bis ca. 4 Mbit/s
Maximale Reichweite	ca. 20–30 m (praxisabhängig)
Latenz	< 1 ms
Modulation	BPSK (Binary Phase Shift Keying - Binäre Phasenumtastung)
Mobilitätsunterstützung	Ja
Sicherheitsmechanismen	Ja
Skalierbarkeit	Begrenzt (lokale Netze)

UWB nutzt eine sehr geringe spektrale Leistungsdichte, sodass das Signal oft unterhalb des Rauschpegels klassischer Funktechnologien liegt. Dadurch ist UWB schwer zu detektieren und unempfindlich gegenüber schmalbandigen Störungen.

Lokalisierung als Kernanwendung

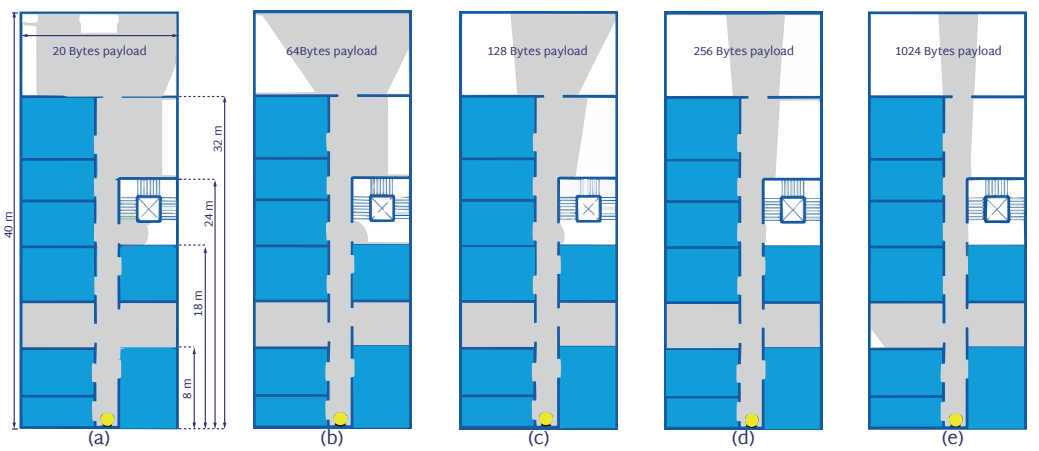
Stärken von UWB

Eine der wichtigsten Stärken von UWB ist die **hochgenaue Entfernungsmessung** mittels Laufzeitmessung (Time of Flight). Durch die hohe zeitliche Auflösung sind Ortungsgenauigkeiten von wenigen Zentimetern erreichbar – deutlich präziser als bei Wi-Fi oder Bluetooth Low Energy. Diese Eigenschaft macht UWB besonders attraktiv für:

- → Indoor-Lokalisierung von Objekten, Werkzeugen oder Fahrzeugen
- → Mitarbeiter- oder Asset-Tracking in Produktions- und Lagerumgebungen
- → Kollisionsvermeidung und Assistenzsysteme
- → Mensch-Maschine-Interaktion mit kurzer Reaktionszeit

Gleichzeitig ist UWB aufgrund seiner kurzen Reichweite und hohen Präzision sehr robust gegenüber Mehrwegeffekten, wie sie in Hallen, Fabriken oder Gebäuden mit metallischen Strukturen auftreten.

Einfluss der Nutzlastgröße (payload) auf den Abdeckungsbereich der UWB-Übertragungen



Einordnung für KMU

UWB eignet sich besonders für Anwendungen, bei denen:

- → **hohe Ortsgenauigkeit** erforderlich ist,
- → **sehr geringe Latenzen** entscheidend sind,
- → sich alle Teilnehmer in einem **räumlich begrenzten Bereich** befinden,
- → eine zuverlässige Funktion in **komplexen Innenräumen** notwendig ist.

Nicht geeignet ist UWB hingegen für:

- → großflächige Sensornetze,
- → Anwendungen mit sehr vielen Knoten über große Distanzen,
- → Szenarien mit extremem Fokus auf minimalen Energieverbrauch pro Bit.

In Projekten der Lakeside Labs wurde UWB vor allem dort eingesetzt und evaluiert, wo präzise Zustands- oder Positionsdaten in Echtzeit benötigt wurden – beispielsweise bei der Schwingungs- und Bewegungsanalyse oder bei der ortsabhängigen Erfassung von Maschinen- und Prozesszuständen.

Info

Ultra Wideband ist eine Kurzstrecken-Funktechnologie, die sich durch extrem geringe Latenz und eine sehr hohe zeitliche Auflösung auszeichnet. Ihre zentrale Stärke liegt in der hochgenauen Distanz- und Positionsbestimmung im Zentimeterbereich sowie in der zuverlässigen Kommunikation in komplexen Innenräumen. UWB wird vor allem für Anwendungen eingesetzt, bei denen präzise Ortung, schnelle Reaktionszeiten und robuste Kommunikation entscheidend sind, etwa in der Intralogistik, bei mobilen Systemen oder für Mensch-Maschine-Interaktionen.

”

UWB ist in der Industrie für Anwendungen zur Positionsbestimmung sehr gut etabliert und auch eine interessante Option für die drahtlose Kommunikation in industriellen Umgebungen. Wie die Experimente und Beispiele zeigen, ist es sehr flexibel in der Konfiguration und sehr energieeffizient. Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften ist es sehr zuverlässig, schwer zu stören (Jamming-Angriffe usw.) und schwer zu identifizieren. Es kann mit anderen drahtlosen Technologien koexistieren, da es insbesondere schmalbandige Technologien wie WLAN, Bluetooth, WirelessHART usw. nicht stört und umgekehrt von diesen nicht gestört wird. Die wirklichen Stärken von UWB sind hohe Datenraten und geringe Latenzzeiten bei kurzen Reichweiten von bis zu 20 m. Sehr oft kann UWB mit anderen Technologien (wie z. B. LoRa) kombiniert werden, um das „Beste aus vielen Welten“ zu nutzen. Für industrielle Anwendungen ist es eine interessante ergänzende Technologie in allen Situationen, in denen viele Daten zuverlässig übertragen werden müssen.



Dr. Andreas Kercek
Research Manager bei
Lakeside Labs





05 5G

Hochperformante und flexible Mobilfunk-kommunikation für industrielle Anwendungen

Mobilfunknetze der fünften Generation (5G) sind die aktuellste Entwicklungsstufe der zellularen Mobilfunktechnologie. Aufbauend auf früheren Generationen, die zunächst Sprachkommunikation (1G, 2G) und später mobilen Internetzugang (3G, 4G) ermöglichten, adressiert 5G gezielt neue Anforderungen wie sehr hohe Datenraten, geringe Latenz und die zuverlässige Anbindung einer großen Zahl von Geräten. Die Standardisierung von 5G begann Mitte der 2010er-Jahre; mit den Releases 15 und 16 wurden neben klassischen Mobilfunkanwendungen insbesondere auch Anforderungen aus Industrie, Verkehr und Automatisierung berücksichtigt.

Ein zentrales Ziel von 5G ist es, sehr unterschiedliche Anwendungsanforderungen innerhalb eines einheitlichen Netzwerks zu unterstützen. Dazu zählen breitbandige Datenübertragung, zeitkritische Kommunikation sowie hochzuverlässige Verbindungen für mobile und autonome Systeme. Im industriellen Kontext wird 5G häufig als Wegbereiter für Anwendungen im Umfeld von Industrie 4.0, Smart Factories und vernetzten Fahrzeugen betrachtet.

Zentrale Eigenschaften

5G unterscheidet sich von früheren Mobilfunkgenerationen vor allem durch seine hohe Flexibilität und Leistungsfähigkeit:

- → **Hohe Datenraten:** bis in den Gigabit-Bereich
- → **Sehr geringe Latenz:** bis unter 1 ms für zeitkritische Anwendungen (URLLC)
- → **Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit**
- → **Unterstützung hoher Mobilität:** z. B. für Fahrzeuge oder Drohnen
- → **Skalierbarkeit:** gleichzeitige Anbindung vieler Geräte
- → **Flexible Netzarchitektur:** durch Virtualisierung und Network Slicing

Je nach Frequenzbereich (Low-, Mid- oder High-Band bzw. mmWave) werden unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt: große Reichweiten bei geringeren Datenraten oder sehr hohe Bandbreiten bei kürzeren Distanzen.

Technischer Überblick

PARAMETER	TYPISCHE WERTE
Frequenzband	Low Band (< 1 GHz), Mid Band (1–6 GHz), High Band / mmWave (24–40 GHz)
Bandbreite	bis 20 MHz (Low), bis 100 MHz (Mid), bis 400 MHz (High)
Effektive Datenrate	bis ca. 0,1 Gbit/s (Low), 1 Gbit/s (Mid), > 10 Gbit/s (High)
Latenz	1–10 ms, < 1 ms bei URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications)
Maximale Reichweite	bis ca. 10 km (Low), deutlich geringer bei höheren Frequenzen
Modulation	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing; Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren), QAM (Quadrature Amplitude Modulation; Quadraturamplitudenmodulation)
Mobilitätsunterstützung	bis ca. 500 km/h
Sicherheitsmechanismen	integriert
Skalierbarkeit	hoch

Zentrale Funktionen für industrielle Anwendungen

Hohe Datenraten und geringe Latenz

5G ermöglicht Anwendungen, die mit älteren Mobilfunktechnologien nicht oder nur eingeschränkt realisierbar waren. Dazu zählen z. B. Teleoperation, autonome mobile Systeme, Echtzeit-Videoübertragung oder Augmented-Reality-Unterstützung für Wartung und Schulung. Die geringe Latenz ist insbesondere für sicherheitskritische oder zeitkritische Steuerungsaufgaben entscheidend.

Netzwerk-Slicing

Eine der wichtigsten Innovationen von 5G ist das sogenannte Network Slicing. Dabei können mehrere logisch getrennte virtuelle Netze auf einer gemeinsamen physischen Infrastruktur betrieben werden. Jedes „Slice" kann gezielt auf bestimmte Anforderungen wie hohe Bandbreite, geringe Latenz oder maximale Zuverlässigkeit optimiert werden. Für industrielle Anwendungen bedeutet dies, dass unterschiedliche Prozesse – etwa Maschinensteuerung, Sensorik und IT-Datenverkehr – parallel und gegenseitig unbeeinflusst betrieben werden können.

Integration von Edge-Computing

5G-Netze sind eng mit Edge-Computing-Konzepten verknüpft. Die Datenverarbeitung kann näher an der Quelle erfolgen, was Latenzen reduziert und die Reaktionsfähigkeit von Anwendungen verbessert. Dies ist besonders relevant für mobile, autonome oder zeitkritische Systeme.

Herausforderungen und Einschränkungen

Trotz der hohen Leistungsfähigkeit bringt 5G auch Herausforderungen mit sich, insbesondere aus Sicht von KMU:

- → **Hohe Infrastrukturkosten:** Der Aufbau eines 5G-Netzes erfordert Investitionen in Basisstationen, Antennensysteme und IT-Infrastruktur.
- → **Frequenzlizenzierung:** Viele 5G-Frequenzbereiche sind lizenziert und mit regulatorischen und finanziellen Hürden verbunden.
- → **Energieverbrauch:** Endgeräte und Infrastruktur verbrauchen mehr Energie als bei Low-Power-Technologien wie LoRa.
- → **Komplexe Planung und Integration:** Die Implementierung erfordert spezialisiertes Know-how und eine sorgfältige Abstimmung mit bestehender IT- und OT-Infrastruktur.

Für industrielle Anwendungen kommen daher häufig private oder Campus-5G-Netze in Betracht, die gezielt für einen Standort oder einen definierten Anwendungsbereich ausgelegt sind.



Einordnung für KMU

5G eignet sich besonders für Anwendungen, bei denen:

- → **sehr hohe Datenraten** erforderlich sind,
- → **niedrigste Latenzen** und hohe Zuverlässigkeit entscheidend sind,
- → **mobile oder autonome Systeme** eingesetzt werden (z.B. Drohnen oder mobile Maschinen),
- → eine enge Kopplung von Kommunikation und Edge-/Cloud-Verarbeitung sinnvoll ist.

Weniger geeignet ist 5G für einfache, batteriebetriebene Sensornetzwerke mit geringer Datenrate und Fokus auf minimalen Energieverbrauch – hier sind LPWAN-Technologien wie LoRaWAN häufig die wirtschaftlichere Wahl.

In den Arbeiten der Lakeside Labs wurde 5G unter anderem anhand eines Drohnen-Netzwerks untersucht, das als repräsentativer, mobiler und latenzkritischer Anwendungsfall diente. Dabei wurde analysiert, wie zuverlässig 5G-Verbindungen unter Bewegung, wechselnden Abständen zum Access Point und dynamischen Flugmanövern funktionieren. Die Ergebnisse zeigten, dass 5G besonders dann Vorteile ausspielt, wenn schnelle Reaktionen, kontinuierliche Übertragung von Sensordaten oder Videostreams und hohe Bewegungsdynamik gleichzeitig gefordert sind.

Info

5G ist die aktuell leistungsfähigste Mobilfunktechnologie und adressiert Anwendungen mit hohen Anforderungen an Datenrate, Latenz, Zuverlässigkeit und Mobilität. Funktionen wie Network Slicing und die Integration von Edge-Computing ermöglichen den parallelen Betrieb sehr unterschiedlicher Anwendungen innerhalb eines Netzes. Im industriellen Kontext eignet sich 5G insbesondere für komplexe, mobile oder latenzkritische Anwendungen wie autonome Systeme, Teleoperation oder Echtzeit-Videoübertragung. Aufgrund der höheren Infrastruktur- und Betriebskosten stellt 5G für viele KMU bislang eher eine gezielte Speziallösung (z. B. in Form privater Campus-Netze) dar als eine universelle Funktechnologie.



Dr. Samira Hayat
Senior Researcherin bei Lakeside Labs

Experimentelle Arbeiten zu 5G, wie sie bei Lakeside Labs GmbH durchgeführt werden, sind von unschätzbarem Wert für diejenigen, die sich mit Spitzentechnologie für branchenspezifische Anforderungen befassen. Durch das aktive Testen und Validieren der Fähigkeiten von 5G-Netzen bietet Lakeside Labs ein praktisches Verständnis dafür, was die Technologie in realen Szenarien leisten kann, und reduziert damit Unsicherheiten für KMU, die nach Innovationen suchen. Neue Anwendungsfälle in Bereichen wie drohnenbasierter Präzisionslandwirtschaft, Echtzeit-Asset-Tracking und intelligenter Fertigung sind ideale Kandidaten für diese fortschrittlichen Netzwerke. Die geringe Latenz und die enorme IoT-Kapazität von 5G ermöglichen nahtlose Automatisierung, vorausschauende Wartung und ein neues Maß an Effizienz in verteilten Betrieben. Für jedes Unternehmen, das wettbewerbsfähig bleiben möchte, kann diese Forschung Aufschluss darüber geben, wie 5G maßgeschneiderte, skalierbare Lösungen ermöglichen und sein Unternehmen in einer zunehmend vernetzten Welt an die Spitze bringen kann.

06 Entscheidungshilfe: Welche drahtlose Technologie für welchen Use Case?

Die Auswahl einer geeigneten drahtlosen Kommunikationstechnologie hängt wesentlich vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Unterschiedliche Use Cases stellen unterschiedliche Anforderungen an Reichweite, Datenrate, Energieverbrauch, Latenz, Ortsgenauigkeit, Skalierbarkeit und Kosten. Eine frühe, strukturierte Einordnung hilft, Fehlinvestitionen zu vermeiden und den Digitalisierungsprozess effizient zu gestalten.

Die folgende Entscheidungshilfe bietet eine erste Orientierung, welche der betrachteten Technologien – **LoRa/LoRaWAN**, **UWB** oder **5G** – für typische industrielle KMU-Anwendungen geeignet ist.

Anforderungen grob einordnen

Stellen Sie sich zu Beginn unter anderem folgende Fragen:

- → Wie **groß** ist das abzudeckende Gebiet (Raum, Halle, Gelände, mehrere Standorte)?
- → Wie **häufig** und in **welcher Datenmenge** müssen Informationen übertragen werden?
- → Sind **geringe Latenz** oder **Echtzeitreaktionen** erforderlich?
- → Müssen **Objekte oder Personen lokalisiert** werden – und wenn ja, mit welcher Genauigkeit?
- → Ist ein **Batteriebetrieb über mehrere Jahre** erforderlich?
- → Welche Rolle spielen **Kosten**, **IT-Know-how** und **Infrastrukturaufwand**?

Typische Technologie-Zuordnung

LoRa / LoRaWAN
Wenn Reichweite und Energieeffizienz im Vordergrund stehen

LoRa/LoRaWAN eignet sich besonders für Anwendungen mit geringer Datenrate, großer Reichweite und sehr niedrigem Energieverbrauch.

Typische Use Cases:

- → Zustands- und Umweltüberwachung (Temperatur, Feuchte, Vibration)
- → Maschinen- und Anlagenmonitoring
- → Zähler- und Verbrauchserfassung
- → Verteilte Sensorik in Hallen, Gebäuden oder auf weitläufigen Arealen

Nicht geeignet, wenn hohe Datenraten oder geringe Latenz notwendig sind.

UWB
Wenn Präzision und Geschwindigkeit entscheidend sind

UWB ist die richtige Wahl für kurzreichweitige Anwendungen mit hoher Orts- oder Zeitauflösung.

Typische Use Cases:

- → Zentimetergenaue Indoor-Lokalisierung von Objekten, Werkzeugen oder Fahrzeugen
- → Asset- und Material-Tracking in der Intralogistik
- → Kollisionsvermeidung und Assistenzsysteme
- → Zeitkritische Kommunikation in komplexen Innenräumen

Nicht geeignet für großflächige Sensornetze oder energiesparende Langzeitmessungen.

5G
Wenn höchste Performance und Flexibilität benötigt werden

5G adressiert Anwendungen mit sehr hohen Anforderungen an Datenrate, Latenz, Zuverlässigkeit und Mobilität.

Typische Use Cases:

- → Autonome mobile Systeme und Fahrzeuge
- → Teleoperation und Fernsteuerung
- → Echtzeit-Video- und Sensordaten
- → Komplexe Industrie-4.0-Szenarien mit Edge-Computing

Zu beachten: Hoher Infrastruktur-, Kosten- und Planungsaufwand; für KMU häufig als gezielte Campus- oder Speziallösung sinnvoll.

Wann passt keine Standardlösung

In der Praxis sind industrielle Anwendungsfälle häufig:

- → **komplexer** als zunächst angenommen,
- → **kombiniert** (z. B. Sensorik + Ortung + Steuerung),
- → von **Randbedingungen** geprägt (z.B. Metallumgebung, elektromagnetische Störungen, Sicherheitsauflagen),
- → oder **innovativ**, sodass Erfahrungswerte fehlen.

Wenn:

- → mehrere Technologien infrage kommen,
- → keine Technologie die Anforderungen vollständig erfüllt,
- → neue oder besonders herausfordernde Rahmenbedingungen vorliegen,
- → Evaluierungen, Feldtests oder Messungen notwendig sind,

dann ist eine **technologieoffene, anwendungsnahe** Analyse entscheidend.

Zusammenarbeit mit den Lakeside Labs

Die Lakeside Labs unterstützen KMU bei genau diesen Fragestellungen – von der strukturierten Anforderungsanalyse über Technologievergleiche bis hin zu prototypischen Implementierungen und Evaluierungen unter realen Bedingungen. Durch die Kombination aus wissenschaftlicher Expertise und industrieller Projekterfahrung helfen die Lakeside Labs dabei, fundierte und nachhaltige Technologieentscheidungen zu treffen.

Unsere Empfehlung

Nutzen Sie diese Entscheidungshilfe als ersten Orientierungspunkt.

Für spezifische, komplexe oder strategisch relevante Digitalisierungsprojekte lohnt es sich, frühzeitig die Lakeside Labs als neutralen Technologiepartner einzubinden.



© Lakeside Park/Steinthaler

07 Praxisbeispiele aus Projekten der Lakeside Labs

Die Auswahl einer drahtlosen Kommunikationstechnologie endet nicht mit dem Vergleich technischer Kenndaten. In industriellen Anwendungen bestimmen reale Rahmenbedingungen wie bauliche Strukturen, elektromagnetische Störungen, Energieverfügbarkeit, Mobilität von Anlagen sowie Integrationsanforderungen in bestehende IT- und OT-Systeme maßgeblich über den Erfolg oder Misserfolg einer Lösung. Gerade in Produktions- und Anlagenumgebungen zeigen sich häufig Abweichungen zwischen theoretisch erwarteter und tatsächlich erreichter Performance.

In diesem Kapitel werden ausgewählte Praxisbeispiele aus gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsprojekten der Lakeside Labs mit Industriepartnern vorgestellt. Sie zeigen, wie drahtlose Kommunikationstechnologien unter realistischen industriellen Bedingungen angewendet, getestet und bewertet wurden – von der Ableitung konkreter Anforderungen über die Technologieauswahl bis hin zur experimentellen Evaluierung und Interpretation der Ergebnisse.

Der Fokus liegt dabei auf praxisrelevanten Fragestellungen, mit denen sich viele KMU im Zuge ihrer Digitalisierungsprojekte konfrontiert sehen, etwa:

- → Welche Technologie eignet sich für hochfrequente Zustandsüberwachung, welche für energieeffizientes Monitoring?
- → Wie wirken sich Umgebungseinflüsse wie Metall, Beton oder elektromagnetische Störungen auf die Funkkommunikation aus?
- → Welche Reichweiten, Datenraten und Zuverlässigkeiten sind unter realen Bedingungen tatsächlich erreichbar?
- → Wo sind hybride Ansätze oder Edge-Vorverarbeitung sinnvoll?

Die dargestellten Fallstudien – unter anderem aus den Bereichen **Windenergie (eologix)** und **Elektromotoren-Monitoring (Spalt & Messfeld)** – folgen einer einheitlichen Struktur. Jede Fallstudie beschreibt die Ausgangssituation und Zielsetzung, die abgeleiteten Mess- und Kommunikationsanforderungen, den gewählten Technologieansatz sowie ausgewählte Evaluierungs- und Messergebnisse. Ergänzt werden diese durch gewonnene Erkenntnisse (lessons learned), die auf andere industrielle Anwendungsfälle übertragbar sind.

Die gezeigten Ergebnisse basieren auf Messungen von Netzwerkzustandsgrößen wie Paketverlustrate (PLR) und Empfangssignalstärke (RSSI) sowie auf systematischen Tests unterschiedlicher Betriebs- und Durchsatzmodi. Sie liefern keine allgemeingültigen Garantien, bieten jedoch eine Entscheidungsgrundlage und verdeutlichen, warum eine strukturierte Evaluierung ein zentraler Bestandteil der Technologieauswahl ist.

Zur besseren Orientierung werden im Folgenden einige zentrale technische Begriffe verwendet:

PHY-Datenrate bezeichnet die maximale Rohdatenrate auf der physikalischen Übertragungsschicht, bevor Protokoll-Overheads berücksichtigt werden.

TDMA-MAC (Time Division Multiple Access) ist ein Zugriffsverfahren, bei dem der Funkkanal in feste Zeitschlitze unterteilt wird, sodass jeder Knoten kollisionsfrei und deterministisch senden kann.

PLR (Packet Loss Rate) beschreibt den Anteil verlorener oder nicht empfangener Datenpakete und ist ein zentrales Maß für Zuverlässigkeit.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) gibt die gemessene Empfangssignalstärke an und dient als Indikator für die Funkqualität.

LOS (Line of Sight) bezeichnet eine direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger.

NLOS (Non-Line of Sight) bedeutet, dass Hindernisse im Übertragungspfad zwischen Sender und Empfänger sind, die die Signalqualität beeinflussen können.

08 Anwendungsfall 1

eologix – Zustandsüberwachung und Energiegewinnung an Windkraftanlagen

Ausgangssituation und Zielsetzung

Windkraftanlagen sind hochkomplexe mechatronische Systeme, deren Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit stark vom Zustand zentraler Komponenten abhängen. Insbesondere die Rotorblätter sind während des Betriebs erheblichen mechanischen Belastungen, Vibrationen und Umwelteinflüssen ausgesetzt. Schäden oder strukturelle Veränderungen werden häufig erst spät erkannt und können zu ungeplanten Stillständen oder kostenintensiven Wartungsmaßnahmen führen.

Im Rahmen einer Forschungskooperation* mit eologix wurde untersucht, wie ein drahtloses Sensornetzwerk zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung von Windkraftanlagen gestaltet werden kann. Ziel war es, Schwingungs- und Zustandsdaten zuverlässig zu erfassen und zu übertragen, ohne die aerodynamischen Eigenschaften der Rotorblätter zu beeinträchtigen oder zusätzlichen Verkabelungsaufwand zu verursachen.

Besondere Herausforderungen dieses Anwendungsfalls sind:

- → der **energieautarke Betrieb** der Sensorknoten (Energy Harvesting),
- → die **raue Außenumgebung** (Temperatur, Feuchtigkeit, Wind, Eisbildung),
- → lange **Lebensdaueranforderungen** (Zielgröße ~20 Jahre),
- → sowie die **begrenzte Zugänglichkeit** der Sensorpositionen nach der Installation.

Neben einer primär energieeffizienten Übertragung von Zustandsindikatoren wurde ergänzend untersucht, inwiefern **UWB** für die Übertragung hochfrequenter Schwingungsdaten und für präzise Lokalisierungsfunktionen in der Nähe der Nabe eingesetzt werden kann.

* Das Projekt ConSens wurde im Rahmen das FFG – Energieforschungsprogramms 2019 mit Mitteln des Klima- und Energiefonds (KLI.EN) gefördert.

Abgeleitete Anforderungen

Messanforderungen

PARAMETER	ANFORDERUNG
Messgrößen	Schwingungen, strukturelle Zustandsindikatoren, Umgebungsdaten
Abtastrate	Niedrig (Zustandsindikatoren) bis hoch (UWB-Evaluierung: 1–40 kS/s)
Messrate	Ereignis- oder zyklusbasiert
Temperaturbereich	ca. –20 °C bis +60 °C
Energieversorgung	Energy Harvesting (PV) mit Energiespeicher
Mechanische Integration	Flache, aerodynamische Sensorbauform
Wartung	Keine regelmäßige Wartung vorgesehen

Kommunikationsanforderungen

PARAMETER	ANFORDERUNG
Reichweite	bis ca. 150 m (LoRa, LOS), 15–25 m (UWB, Nahbereich)
Netzwerktopologie	Stern (Sensor → Gateway)
Datenrate	Sehr niedrig (Monitoring) bis hoch (UWB-Testbetrieb)
Latenz	Nicht zeitkritisch für Monitoring
Robustheit	Hohe Toleranz gegenüber NLOS und Mehrwegeffekten
Koexistenz	Integration mit Mobilfunk-Backhaul (z. B. 4G/5G)

Technologiezuordnung und Designentscheidung

Nach der Anforderungsanalyse (Messgrößen, Energieautarkie, raue Außenbedingungen, große Strukturkomponente Rotorblatt) wurden mögliche Funktechnologien systematisch bewertet. Die Analyse zeigte rasch, dass keine einzelne Technologie allein alle Anforderungen erfüllen kann. Stattdessen ergibt sich eine technisch begründete Hybridlösung, die unterschiedliche Stärken kombiniert.

LoRa/LoRaWAN erwies sich aufgrund folgender Eigenschaften als primäre Technologie für den Dauerbetrieb:

- → **Sehr geringer Energieverbrauch**, kompatibel mit Energy Harvesting
- → **Große Reichweite** bei freier Sicht – wichtig bei wechselnden Abständen zur Nabe
- → **Robustheit gegenüber schwierigen Ausbreitungsbedingungen**, etwa durch Rotorbewegungen
- → **Sehr geringe Datenraten ausreichend**, da überwiegend Zustandsindikatoren übertragen werden

Damit eignet sich LoRa ideal für „always-on"-Monitoring-Funktionen, bei denen Energieeffizienz und Robustheit entscheidender sind als Datenrate oder Latenz.

Ergänzend wurde UWB als zweite Technologie gezielt für Szenarien evaluiert, in denen:

- → **hochfrequente Schwingungsdaten** in kurzen Zeitintervallen übertragen werden sollen,
- → **präzise Lokalisierungsinformationen** erforderlich sind (z. B. für Forschungszwecke oder Verformungsanalysen),
- → oder **deterministische Latenzen** für algorithmische Tests nötig sind.

Die Entscheidung folgte dem Vier-Schritte-Modell: Nach einer theoretischen Vorauswahl bestätigte die praktische Evaluierung, dass LoRa klare Vorteile in den energiearmen Dauerfunktionen besitzt, während UWB seine Stärken nur im nahbereichigen Hochdurchsatz-Kontext ausspielen kann. Diese Trennung bildet die Grundlage für ein modulares Sensornetzkonzept, das eologix für zukünftige Generationen flexibel einsetzen kann.


UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa & 5G
UWB
UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa
UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa
UWB
UWB & LoRa

LoRa-basierte Monitoring-Architektur (Zielbetrieb)

Die LoRa-Architektur wurde als Referenz für den späteren Dauerbetrieb entworfen:

- → Sensorknoten entlang der Rotorblätter, energieautark (PV+Pufferakku)
- → Zentraler LoRa-Gateway im Bereich der Nabe oder im Turm
- → Sternförmige Topologie, stabile Kommunikation auch bei Blattbewegung
- → Weiterleitung der Daten über Mobilfunk an Backend-Systeme
- → Sehr geringe Sendeintervalle und lange Schlafphasen

Diese Architektur ist darauf ausgelegt, über Jahre ohne Wartung zu laufen und geringe Datenmengen zuverlässig zu transportieren.

UWB-Evaluierungsarchitektur (Forschung & Labor-/Feldtests)

Für die UWB-Tests wurde ein dediziertes Testbed aufgebaut:

- → Hardware: Einsatz von EVK1000 UWB-Boards
- → Sternförmige Netzwerktopologie mit einem zentralen Access Point und mehreren Knoten
- → PHY-Datenrate: 6,8 Mbit/s, getestet auch mit geringerer Präambellänge
- → Benutzerdefinierte TDMA-MAC-Schicht, um Kollisionen zu vermeiden und deterministische Slots zu schaffen
- → Schutzintervall zwischen UWB-Knoten: ca. 0,1 ms
- → Variable Nutzlastgrößen (64–1024 Bytes), um Reichweite/Overhead-Trade-offs zu analysieren

Der Versuchsaufbau umfasste sowohl Laborszenarien als auch Außenmessungen, um Reichweite, Signalqualität, Energieverbrauch und Paketverlustrate (PLR) realitätsnah zu charakterisieren.

Evaluierung und Ergebnisse (Auszug)

Die Evaluierung der Technologien erfolgte anhand realer Funkszenarien, der gemessenen Netzwerkzustandsgrößen RSSI und PLR sowie des Energieverbrauchs.

UWB - Reichweite und Nutzlast

- → Kleine Nutzlasten (<128 Bytes) ermöglichten selbst unter NLOS-Bedingungen Reichweiten von über 40 m.
- → Für industrielle Anwendungen stellte sich eine Nutzlast von 256–512 Bytes als sinnvoller Kompromiss zwischen Reichweite und Overhead heraus.
- → Daraus ergab sich eine realistische Zielreichweite von 15–25 m in industriell typischen Szenarien, bei akzeptabler PLR.
- → NLOS-Bedingungen erhöhten die PLR deutlich; Antennenausrichtung war entscheidend.

UWB – Durchsatzmodi

Drei Betriebsmodi wurden realisiert:

MODUS	ABTASTRATE	DATENRATE	EINSATZ
Hoch	**40 kS/s**	**ca. 2,88 Mbit/s**	Vollständige Vibrationssignale
Mittel	**10 kS/s**	**ca. 0,72 Mbit/s**	Periodische Musteranalyse
Niedrig	**1 kS/s**	**ca. 0,07 Mbit/s**	Energiereduzierter Dauerbetrieb

Diese Umschaltbarkeit erlaubt eine adaptive Anpassung an Analysebedarf und Energiehaushalt.

UWB - Energieverbrauch

- → Senden: ca. **155 mW**
- → Empfangen: ca. **354 mW**
- → Ruhezustand: ca. **1 mA**
- → Längere Präambeln führten zu einer deutlichen Reduktion der Batterielebensdauer.

Umgebungseinflüsse

- → NLOS-Bedingungen erhöhen die PLR signifikant.
- → Antennenausrichtung und Montageposition beeinflussen die Konnektivität stärker als die reine Entfernung.

LoRa- Reichweite und Energieeffizienz

In Vergleichsprojekten und ergänzenden Tests wurde bestätigt:

- → Stabile Übertragung bei Reichweiten bis ~150 m im Außenbereich (LOS)
- → Hervorragende Robustheit gegenüber großräumiger Bewegung
- → Extrem geringer Energieverbrauch, ideal für Energy-Harvesting-Konzepte

Diese Eigenschaften machen LoRa zum bevorzugten Kommunikationskanal für eine kontinuierliche Blattüberwachung.

Lessons Learned und Übertragbarkeit

- → **Technologietrennung ist entscheidend:** Energiearme Monitoring-Daten und hochfrequente Analyse-Daten sollten über unterschiedliche Funktechnologien übertragen werden. **LoRa** ist die optimale Technologie für energiearme Dauerüberwachung – robust, skalierbar und wartungsarm. **UWB** eignet sich hervorragend für punktuelle Hochdurchsatz- oder Lokalisierungsaufgaben, jedoch nur in kurzen Distanzen und mit spürbarem Energieaufwand.
- → **Nutzlastgröße** bei UWB ist ein zentraler Hebel für Reichweite, PLR und Energieverbrauch.
- → **Antenne und Montagehöhe** sind in Außenanwendungen oft wichtiger als die nominelle Funkleistung.
- → **Energy-Harvesting-Szenarien erfordern konsequente Datenreduktion**, z. B. durch lokale Vorverarbeitung oder Ereigniserkennung.

Das modulare Architekturprinzip ist leicht übertragbar auf andere schwer zugängliche oder rotierende Systeme (z.B. Krane, maritime Strukturen, Förderanlagen).

Partnerstimme

„Dank der Ergebnisse des Projekts ConSens können wir unsere Geräte der nächsten Generation mit einem viel besseren allgemeinen Wissen über modernste Funkschnittstellen und das damit verbundene Optimierungspotenzial entwickeln. Die Unterstützung der wissenschaftlichen Partner war entscheidend für den Projekterfolg. Wir sind mit den Ergebnissen äußerst zufrieden und schätzen die professionelle Zusammenarbeit sehr." — eologix



Dr. Michael Moser
CTO Eologix Sensor Technology GmbH

09 Anwendungsfall 2

Spalt & Messfeld – Vibrations- und Temperaturerfassung an Elektromotoren

Ausgangssituation und Zielsetzung

Elektromotoren sind zentrale Komponenten in vielen industriellen Produktionsanlagen. Frühzeitiges Erkennen von Verschleiß, Unwuchten oder thermischen Problemen ist entscheidend, um Ausfälle zu vermeiden und die Lebensdauer der Anlagen zu verlängern. Konventionell erfolgt die Zustandsüberwachung häufig über verkabelte Messsysteme, deren Installation und Wartung aufwändig und kostenintensiv sind.

Im Projekt mit Spalt & Messfeld wurde untersucht, wie drahtlose Sensortechnik zur dauerhaften Erfassung von Vibrations- und Temperaturdaten an Elektromotoren eingesetzt werden kann. Ziel war es, hochfrequente Vibrationsdaten und kontinuierliche Temperaturmessungen ohne zusätzliche Verkabelung zu erfassen und zuverlässig an zentrale Auswertesysteme zu übertragen.

Besondere Herausforderungen sind:

- → hohe Abtastraten für Schwingungsmessungen,
- → Synchronisation mehrerer Sensoren,
- → NLOS-Bedingungen in metallischen Produktionsumgebungen,
- → und die Koexistenz mit bestehenden Funk- und Mobilfunktechnologien.

Abgeleitete Anforderungen

Messanforderungen

PARAMETER	ANFORDERUNG
Messgrößen	Vibration (bis 10–20 kHz), Temperatur (PT100)
Abtastrate	bis 10–20 kHz (Vibration), bis 1 kHz (Temperatur)
Messrate	kontinuierlich
Sensorintegration	Montage als Unterlegscheiben-Ersatz
Energieversorgung	bevorzugt netzgebunden
Wartung	minimaler Aufwand

Kommunikationsanforderungen

PARAMETER	ANFORDERUNG
Reichweite	ca. 20–32 m
Netzwerktopologie	Stern
Datenrate	bis ca. 2–3 Mbit/s
Latenz	niedrig für Alarmierung
Zuverlässigkeit	PLR ≤ 5 %
Koexistenz	paralleler Betrieb mit WLAN/4G möglich

Technologiezuordnung und Designentscheidung

Nach der Analyse der Anforderungen – hohe Abtastraten für Schwingungen, kontinuierliche Temperaturmessung, Montagefreiheit und zuverlässiger Betrieb in einer komplexen Produktionshalle – wurde früh klar, dass klassische LPWAN-Technologien die Datenmengen nicht tragen können, während rein verkabelte Lösungen zu viel Aufwand verursachen und die Flexibilität einschränken würden.

Nach der Anforderungsanalyse aus dem vierstufigen Vorgehensmodell ergab die Bewertung möglicher Funktechnologien, dass UWB hohe Bandbreiten, geringe Latenz und stabile Kommunikation im Nahbereich bietet – und damit geeignet ist für die Übertragung hochfrequenter Vibrations- und Temperaturdaten. Außerdem eignet sich LoRa/LoRaWAN ergänzend für niedrigfrequente Temperaturdaten oder nachgelagerte Zustandsindikatoren, jedoch nicht für hochauflösende Vibrationsrohdaten. Auch wenn WLAN oder 5G hohe Datenraten bieten, sind sie aber im Kontext dieses Anwendungsfalls hinsichtlich Energieverbrauch, Infrastrukturaufwand oder Echtzeitanforderung weniger passend. In der Evaluierung zeigte sich, dass UWB – kombiniert mit einem benutzerdefinierten TDMA-MAC – die erforderliche Datenrate, Stabilität und deterministische Kanalzugriffssteuerung bereitstellt. Damit fiel die Entscheidung auf eine hybride, UWB-zentrische Lösung, die folgende Vorteile bietet:

- → UWB für hochfrequente Vibrations- und Mehrkanalsensordaten
- → LoRa (optional) für energiearme Statusmeldungen oder Langzeittrends
- → Skalierbarkeit für mehrere Knoten pro Access Point
- → Koexistenz mit bestehenden 4G-Infrastrukturen im Werk

Die resultierende Architektur kombiniert:

- → UWB als primäre Technologie für Echtzeit-Schwingungsdaten
- → optional LPWAN-Technologien für langfristige, energieeffiziente Monitoring-Signale
- → modulare Erweiterbarkeit um zusätzliche Sensoren und Diagnosekanäle

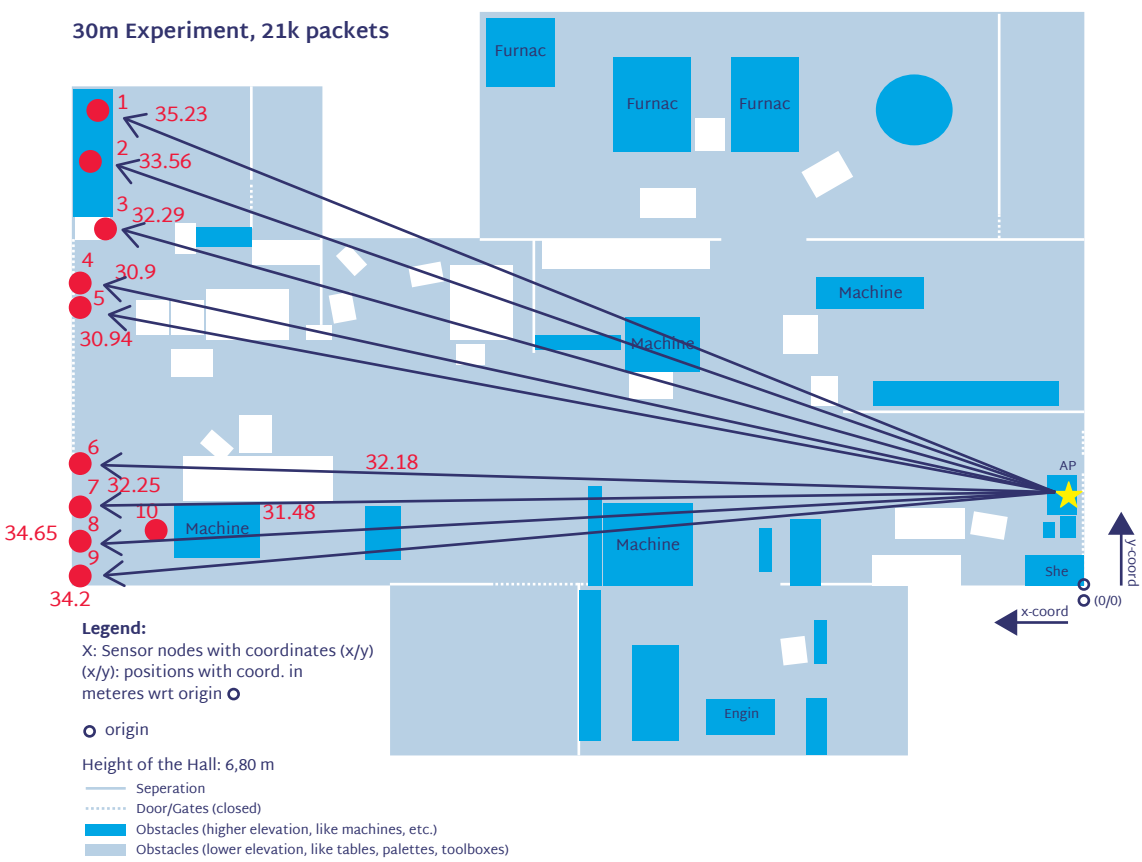
Die Entscheidung ermöglicht ein zukunftssicheres Monitoring-System, das sowohl hochpräzise Diagnosen als auch energieeffiziente Prozessüberwachung abdeckt.

UWB-Systemarchitektur

Die Architektur basiert auf einem zentralen Access Point (AP), der ein Cluster von Sensorknoten koordiniert:

- → 10 Sensorknoten (DWM1001C) mit Vibrations- und Temperatursensorik
- → 1 UWB-AP mit Anbindung an einen Auswertungsrechner
- → Sternförmige Netzwerktopologie, deterministisch gesteuert über ein benutzerdefiniertes TDMA-MAC
- → Mehrkanalfähigkeit (Vibration und Temperatur gleichzeitig)
- → Effektiver UWB-Datendurchsatz von ca. 2,8 Mbit/s

Die Tests fanden in einer 30 x 10 m großen Produktionshalle mit Betonwänden und schweren Maschinen statt. Zusätzlich wurden Sensorknoten in angrenzenden Räumen platziert, um NLOS-Szenarien und Abdeckungsgrenzen zu untersuchen.



Messaufbau für den Elektromotor



Parallel wurden Messungen an einem Test-Elektromotor durchgeführt, bei denen drahtlos erfasste Daten mit einem verkabelten Referenzsystem verglichen wurden. An diesem Elektromotor wurden zwei Vibrationssensoren (10-20 kHz), fünf PT100-Temperatursensoren, eine drahtlose Datenübertragung via UWB installiert. Als Backend diente ein Raspberry-Pi-System mit Datenzugriff über 4G-Backhaul.

Die Ziele des Versuchsaufbaus umfassten die Bewertung der Reichweite und Zuverlässigkeit des drahtlosen Systems, die Analyse der Auswirkungen von NLOS-Bedingungen, Maschinenbewegungen und Betonwänden, ein Vergleich der UWB-Datenqualität mit dem verkabelten Referenzsystem und einen Nachweis der Skalierbarkeit auf mehrere Sensorknoten.

Evaluierung und Ergebnisse (Auszug)

Die Evaluierung umfasste mehrere Szenarien mit unterschiedlichen Abständen, Hindernissen und Ausbreitungsbedingungen.

Reichweite und Zuverlässigkeit

In der Hauptwerkstatt ließ sich bis ca. 20 m eine nahezu vollständige Abdeckung mit minimaler PLR realisieren. In einem erweiterten Setup mit Abständen bis ~32–35 m blieb die Verbindung überwiegend stabil, solange der RSSI über –96 dBm lag. Betonwände wirkten als stärkstes Hindernis; Metall und Maschinen hatten spürbaren, aber weniger kritischen Einfluss. So ließ sich in den meisten LOS- und moderaten NLOS-Szenarien eine stabile Übertragung mit sehr niedriger PLR realisieren.

Paketverlustrate und Retransmission

Die meisten Knoten erreichten bei NLOS-distanz < 30 m eine PLR zwischen 0–3 %, mit Retransmission meist < 1 %. Ein einzelner Knoten im voll abgeschotteten Raum zeigte erhöhte PLR, blieb jedoch funktionsfähig. Empfangspegel unter etwa –96 dBm führten zu erhöhten Paketverlusten. Betonwände stellten die kritischsten Hindernisse dar.

Datenqualität und Vergleich mit Referenzsystem

Die UWB-übertragenen Vibrationsdaten deckten die 10-kHz-Signaturen zuverlässig ab. Die Temperaturmessungen wurden stabil und kontinuierlich übertragen. Die Ergebnisse waren vergleichbar mit dem verkabelten Messsystem, sodass eine drahtlose Dauerüberwachung technisch realisierbar ist.

Skalierung

Die Lösung erwies sich als skalierbar für unterschiedliche Sensortypen und Datenraten innerhalb eines Netzes. Das TDMA-basierte MAC konnte mehrere Sensortypen und Kanäle pro Knoten bedienen. Die Architektur ist ohne größere Änderungen auf weitere Maschinen oder Sensortypen ausdehnbar.

Außerdem wurde festgestellt, dass die parallele Nutzung von UWB und Mobilfunk-Backhaul ohne gegenseitige Beeinflussung funktioniert.

Lessons Learned und Übertragbarkeit

Die Ergebnisse zeigen deutlich:

- → **Drahtlose Vibrationsüberwachung ist technisch machbar**, selbst bei hohen Abtastraten, sofern geeignete Technologien und Protokolle eingesetzt werden.
- → **UWB ist für hochfrequente Vibrationsdiagnostik im Nahbereich prädestiniert** – robust, latenzarm und hochauflösend.
- → **AP-Positionierung** ist entscheidend für zuverlässige NLOS-Übertragung in Produktionshallen. Betonstrukturen sind die größte Herausforderung und sollten im Netzdesign aktiv berücksichtigt werden.
- → **Hybridarchitekturen** (hochfrequente Daten drahtlos, aggregierte Daten energieeffizient) bieten hohe Flexibilität: UWB für Rohdaten – LoRa oder andere Niedrigratennetze für Langzeitindikatoren.

Die modulare Lösung kann für weitere Maschinen, wie Pumpen, Lüfter, Kompressoren oder Antriebe in der Fördertechnik, angepasst werden. Somit ist der Anwendungsfall auf viele motorgetriebene Systeme in Industrieanlagen übertragbar.

Partnerstimme

„Die Wireless-Technologie-Anwendung für Elektromotoren hilft uns, den Zustand ohne zusätzliche Verkabelung zu überwachen – effizient und kostengünstig."



Ing. DI Dr. Jutta Isopp
CEO Messfeld GmbH

10 Abschluss und Ausblick

Von der Technologieentscheidung zur erfolgreichen Umsetzung

Die Digitalisierung industrieller Prozesse erfordert fundierte Entscheidungen – insbesondere bei der Auswahl drahtloser Kommunikationstechnologien. Wie dieser Leitfaden gezeigt hat, unterscheiden sich Technologien wie LoRa/LoRaWAN, UWB und 5G erheblich in ihren Eigenschaften, Stärken und Einsatzgrenzen. Eine pauschale Empfehlung ist daher nicht möglich. Vielmehr bestimmt der konkrete Anwendungsfall, welche Technologie sinnvoll, wirtschaftlich und nachhaltig ist.

Zentrale Erkenntnisse aus Leitfaden und Praxisbeispielen

Aus dem Technologieüberblick, der Entscheidungshilfe und den Praxisbeispielen lassen sich einige übergeordnete Erkenntnisse ableiten:

- → **Anwendungsfälle sind der Ausgangspunkt jeder Technologieentscheidung.** Reichweite, Datenrate, Latenz, Energieversorgung und Umgebungsbedingungen müssen klar definiert sein, bevor eine Technologie ausgewählt wird.
- → **Keine einzelne Technologie deckt alle Anforderungen ab.** LoRa/LoRaWAN eignet sich besonders für energieeffiziente, großräumige Sensornetze mit niedriger Datenrate, UWB für präzise, zeitkritische und datenintensive Anwendungen im Nahbereich, und 5G für hochperformante, mobile und latenzkritische Szenarien mit entsprechender Infrastruktur.
- → **Reale Industrieumgebungen unterscheiden sich deutlich von Laborbedingungen.** Metallische Strukturen, Betonwände, elektromagnetische Störungen oder eingeschränkte Montagepositionen haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit drahtloser Systeme.
- → **Praxisnahe Evaluierung reduziert Risiken.** Die vorgestellten Projekte zeigen, dass Messungen von Netzwerkzustandsgrößen wie Paketverlustrate (PLR) und Empfangssignalstärke (RSSI) unter realistischen Bedingungen entscheidend sind, um belastbare Aussagen über Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit zu treffen.

Die in diesem Leitfaden vorgestellten Beispiele verdeutlichen, wie unterschiedlich Anforderungen ausfallen können – selbst bei ähnlichen Zielsetzungen wie Zustandsüberwachung oder Energieoptimierung – und warum ein systematisches Vorgehen entscheidend ist.

Ausblick

Drahtlose Kommunikationstechnologien entwickeln sich kontinuierlich weiter. Neue Standards, leistungsfähigere Hardware, verbesserte Energieversorgungskonzepte und fortschreitende Integration mit Edge- und Cloud-Systemen werden die Möglichkeiten industrieller Anwendungen weiter erweitern. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Interoperabilität, Sicherheit und Skalierbarkeit.

Für KMU bietet dies große Chancen, aber auch neue Entscheidungsfragen. Dieser Leitfaden soll dabei helfen, den Einstieg zu erleichtern, Orientierung zu geben und typische Fallstricke zu vermeiden. Die erfolgreiche Umsetzung drahtloser Kommunikation ist dabei weniger eine Frage der einzelnen Technologie als vielmehr das Ergebnis eines klaren Verständnisses des eigenen Anwendungsfalls, realistischer Erwartungen und einer strukturierten Vorgehensweise.

Impressum:
Der Inhalt dieser Veröffentlichung, einschließlich Text, Bilder, Grafiken und Diagramme, sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verbreitung, Vervielfältigung oder Reproduktion dieses Materials bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung von Lakeside Labs und seiner Partner. Einige Texte wurden mithilfe von künstlicher Intelligenz erstellt. Bilder: Martin Steinthaler; Johannes Puch; Manuela Schwarzl; stock.adobe.com: victoria, Extrastock, Gorodenkoff, Shutter2U, Sergey, Paulista. Druck: druck.at

Haftungsausschluss
Diese Veröffentlichung spiegelt den Wissensstand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider und wurde mit der gebotenen Sorgfalt erstellt. Es wird jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der angegebenen Informationen übernommen. Die Leser:innen sind selbst dafür verantwortlich, zu beurteilen, ob die Inhalte ihren spezifischen Bedürfnissen entsprechen. Die Verwendung dieser Publikation erfolgt auf eigenes Risiko und nach eigenem Ermessen. Lakeside Labs und die beteiligten Partnerunternehmen übernehmen keine Haftung für direkte, indirekte, zufällige oder Folgeschäden, die aus der Nutzung dieser Publikation oder der darin enthaltenen Informationen entstehen.
Ergänzender Hinweis: Weiterführende und detailliertere Informationen finden Sie in dem ergänzenden Dokument „A Selection of Wireless Communication Technologies for Small and Medium-sized Enterprises - A Handbook“ unter www.dih-sued.at/fileadmin/dih-sued/Dateien_Aktivitaeten/DIH_Sued_Handbook_final.pdf, das in englischer Sprache verfügbar ist.

© 2026 Lakeside Labs und seine Partner. Alle Rechte vorbehalten.

NEXT STEPS

für KMUS in Kärnten

01 Anwendungsfall klar definieren

Starten Sie nicht mit der Technologie, sondern mit dem konkreten betrieblichen Bedarf:

- Welcher Prozess soll überwacht, optimiert oder automatisiert werden?
- Welche Daten sind wirklich notwendig (Messgröße, Auflösung, Häufigkeit)?
- Welche Rahmenbedingungen gelten (Innen/Außen, Energieversorgung, Umgebungseinflüsse)?

Ein klar formulierter Anwendungsfall ist die wichtigste Grundlage für jede weitere Entscheidung.

02 Erstberatung und Standortbestimmung nutzen

Nutzen Sie niederschwellige Beratungsangebote, um Ihren Digitalisierungsgrad und mögliche Handlungsfelder einzuordnen. Für Kärntner KMU bietet der DIH SÜD (Digital Innovation Hub Süd) einen idealen Einstiegspunkt:

- technologieoffene Erstberatung,
- Unterstützung bei der Konkretisierung von Use Cases,
- Orientierung zu Fördermöglichkeiten und Pilotprojekten.

Ziel dieser Phase ist nicht die Lösung, sondern sichere Entscheidungsgrundlagen.

03 Technologieoptionen strukturiert bewerten

Auf Basis der Anforderungen können nun passende Technologien eingegrenzt werden:

- LoRa/LoRaWAN für energieeffiziente, großräumige Sensornetze,
- UWB für präzise, zeitkritische oder datenintensive Anwendungen im Nahbereich,
- 5G für hochperformante, mobile oder latenzkritische Szenarien.

Die in diesem Leitfaden dargestellte Entscheidungshilfe unterstützt diesen Schritt.

04 Evaluierung und Pilotbetrieb durchführen

Vor einer großflächigen Einführung empfiehlt sich ein Pilotprojekt:

- Test unter realen Betriebsbedingungen,
- Messung von Zuverlässigkeit, Reichweite, Latenz und Energieverbrauch,
- Bewertung des Integrationsaufwands.

Die Lakeside Labs unterstützen KMU dabei technologieoffen – von der Testkonzeption über Messungen (z. B. PLR, RSSI) bis zur Interpretation der Ergebnisse.

Ein realistischer Pilot reduziert Investitionsrisiken erheblich.

Der erfolgreiche Einsatz drahtloser Kommunikation beginnt mit klaren Zielen und realistischen Schritten. Insbesondere für KMU in Kärnten stehen dafür regionale Unterstützungsstrukturen zur Verfügung, die den Einstieg erleichtern und Risiken reduzieren.

05 Umsetzung planen und skalieren

Nach erfolgreichem Pilotbetrieb folgt die schrittweise Umsetzung:

- Feinjustierung von Parametern und Architektur,
- Integration in bestehende IT-/OT-Systeme,
- skalierbarer Roll-out und laufende Optimierung.

Hybride Lösungen – etwa die Kombination mehrerer Funktechnologien oder Edge-Vorverarbeitung – bieten dabei häufig zusätzliche Flexibilität.

06 Regionale Netzwerke aktiv nutzen

Digitalisierung ist kein Einzelprojekt. Der Austausch mit anderen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Innovationspartnern beschleunigt Lernprozesse:

- Erfahrungsaustausch über den DIH SÜD,
- Zusammenarbeit mit regionalen Forschungs- und Umsetzungspartnern,
- Nutzung gemeinsamer Test- und Demonstrationsumgebungen.

Empfehlung:

KMU in Kärnten sollten Digitalisierung als iterativen Lernprozess verstehen. Ein klarer Use Case, ein strukturierter Auswahlprozess und eine frühzeitige praxisnahe Evaluierung – idealerweise in Zusammenarbeit mit Partnern wie dem DIH SÜD und den Lakeside Labs – erhöhen die Erfolgschancen deutlich.

Lakeside Labs
SELF-ORGANIZING NETWORKED SYSTEMS