

Kommunikationsinfrastruktur für den Cluster Wald und Holz

Ein KWH4.0-Standpunkt

18.11.2019

Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0
c/o RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Projektkoordination)
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 20
D-44227 Dortmund
www.kwh40.de

Kontakt

Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0
 c/o RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Projektkoordination)
 Joseph-von-Fraunhofer-Straße 20
 D-44227 Dortmund
 www.kwh40.de

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Frank Heinze
 Tel. +49 (0) 231 9700-781
 frank.heinze@rt.rif-ev.de

Verantwortlicher Autor: Christoph Pallasch, WZL

Autoren



RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Koordinator)
 Geschäftsführer: Dipl.-Inf. Michael Saal
 Joseph-von-Fraunhofer Str. 20, 44227 Dortmund



Werkzeugmaschinenlabor (WZL), RWTH Aachen
 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher
 Steinbachstraße 19, 52074 Aachen



Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), RWTH Aachen
 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann
 Ahornstraße 55, 52074 Aachen



Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), RWTH Aachen
 Institutsleiterin: Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch
 Bergdriesch 27, 52062 Aachen

Landesbetrieb Wald und Holz
 Nordrhein-Westfalen



Wald und Holz NRW, Lehr- und Versuchsforstamt Arnsberger Wald
 Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik
 Leitung: FD Thilo Wagner
 Alter Holzweg 93, 59755 Arnsberg

Förderhinweis

Dieses Vorhaben wird gefördert durch das Land Nordrhein-Westfalen unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).



EFRE.NRW
 Investitionen in Wachstum
 und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
 Investition in unsere Zukunft
 Europäischer Fonds
 für regionale Entwicklung

Version	Datum	Seiten	Änderungen
0.9	25.07.2019	Alle	Initialer Entwurf
1.0	18.11.2019	Alle	Erste offizielle Version

Kommunikationsinfrastruktur für den Cluster Wald und Holz

Im Rahmen der Vernetzung des Clusters Wald und Holz schaffen Funktechnologien die notwendigen technologischen Voraussetzungen zur Übertragung von Daten und damit Informationen insbesondere von/zu/zwischen den Assets vor Ort. Umwelt- und Witterungsbedingungen, eine fehlende digitale Infrastruktur, der Ausbau eines Telekommunikationsnetzes als auch geographische Gegebenheiten sind dabei Herausforderungen, die in diesem Kontext bei der Erschließung eines Kommunikationsnetzes berücksichtigt werden müssen. Die Nutzung drahtloser Übertragungstechnologien spiegelt sich in einer vorteilhafteren Infrastrukturplanung wider als sie mit kabelgebundenen Lösungen erreichbar ist. Mobile Maschinen könnten ohne diese Technologien gar nicht, immobile Einrichtungen wie beispielsweise Sensorik nur mit unrealistischem hohem Aufwand erreichbar gemacht werden. Dabei muss eine Auswahl geeigneter Funktechnologien unter Berücksichtigung der geforderten Eigenschaften innerhalb gegebener Anwendungsfälle erfolgen.

Zur Vorbereitung auf die nachfolgenden Abschnitte werden zunächst einige Grundlagen zu Funktechnologien sowie eine Übersicht und Beschreibung in Frage kommender Übertragungstechnologien vorgestellt. Anschließend werden konkrete Kommunikationsszenarien im Cluster untersucht und anhand eines Beispielszenarios ein möglicher Lösungsansatz aufgezeigt. Zur Etablierung einer vollständigen Konnektivität ist ein mehrteiliger Lösungsansatz notwendig, der sich derzeit noch in der Ausarbeitung befindet.

1 Grundlagen drahtloser Übertragungstechnologien

Zur Übertragung von Daten werden bei Funktechnologien elektromagnetische Wellen über eine Antenne ausgestrahlt. Dabei wird ein Signal niedriger Frequenz, das sogenannte Nutzsignal, auf ein Signal höherer Frequenz, dem sogenannten Trägersignal, aufmoduliert. Eine Modulation kann dabei über die Veränderung der Amplitude, der Frequenz oder der Einstellung der Phasenlage des Trägersignals erfolgen, wie in Abbildung 1 dargestellt ist. Die Zuordnung eines Nutzsignalteils zur entsprechenden Modulation wird Symbol genannt. Ein Symbol kann z.B. die Einstellung der Phasenlage auf 45° oder 90° oder die Einstellung der Amplitude auf 70% oder 30% der Maximalamplitude sein.

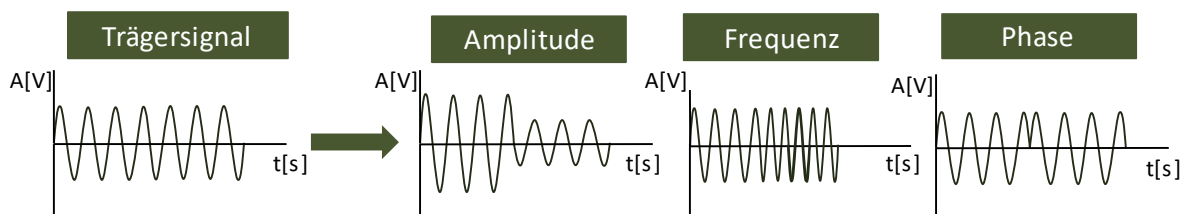


Abbildung 1 Modulation elektromagnetischer Wellen

Da die Komplexität der Modulation und Demodulation eines Trägersignals proportional mit der Trägersignalfrequenz steigt, sind heutzutage alle entsprechenden Hardwarebausteine als sogenannte Überlagerungsempfänger bzw. Superheterodyn- (kurz SuperHet) Empfänger / Sender ausgelegt. Im Gegensatz zu Geradeausempfängern, welche das Nutzsignal direkt auf das Trägersignal aufmodulieren, mischen Überlagerungsempfänger das Nutzsignal zunächst mit Hilfe eines Oszillators, dessen Frequenz geringer ist als die Frequenz des Trägersignals. Bei dieser sogenannten Zwischenfrequenz ist es möglich, Filter- und Verstärkerstufen ohne größere Aufwände bzgl. der Berücksichtigung parasitärer

Effekte auszulegen. Anschließend erfolgt die eigentliche Modulation des Zwischensignals auf das Trägersignal durch eine weitere Mischer- bzw. eine Verstärkerstufe. Abschließend erfolgt die Abstrahlung über eine Antenne. Bei digitaler Übertragungstechnik werden Binärsignale an den jeweiligen Modulator geschickt, welcher je nach Modulationsart den eingehenden Datenstrom in Symbole bzw. elektromagnetische Wellen umwandelt, wie in Abbildung 2 dargestellt ist.

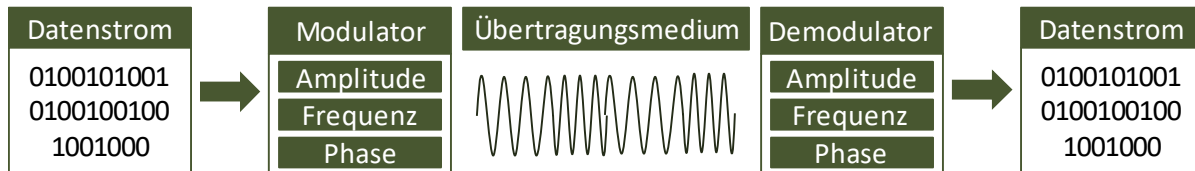


Abbildung 2 Prinzip eines Modulators

In Abbildung 3 sind exemplarisch die Umwandlungen binärer Datenströme in Symbole dargestellt, welche das Trägersignal wahlweise in Amplitude, Frequenz oder Phasenlage verändern. In diesem Fall wird jedem Binärzustand (1 oder 0) genau ein Symbol zugeordnet, welche in diesem Fall hohe bzw. niedrige Amplitude („Amplitude Shift Keying“ bzw. ASK), höherer oder niedrigerer Frequenzhub („Frequency Shift Keying“ bzw. FSK) oder Drehung der Phasenlage um 180° entsprechen („Phase Shift Keying“ bzw. PSK). Um mehr Binärinformationen pro Symbol zu übertragen, müssen entsprechende Verfahren angewendet werden, bei denen z.B. die Amplitude und die Phasenlage im Signal mit kodiert ist (siehe Quadraturamplitudenmodulation bzw. QAM bei DVB-T oder WLAN).

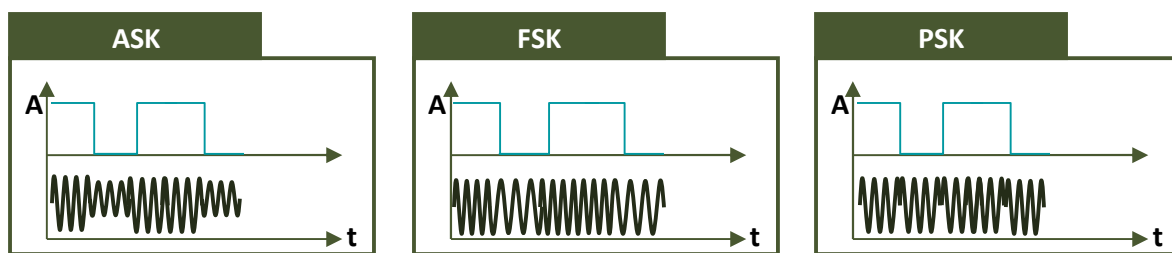


Abbildung 3 Modulation bei Übertragung binärer Datenströme

Aufgrund der Tatsache, dass Funktechnologien einen allgegenwärtigen Übertragungskanal nutzen, sind sogenannte Medienzugriffsverfahren notwendig, um Interferenzen und andere Störungen von Kommunikationsteilnehmern untereinander zu vermeiden. Medienzugriffsverfahren beschreiben Regularien in Form von Algorithmen und Vorgehen zur Nutzung gemeinsamer Übertragungskanäle. Sie ermöglichen es, mehrere Teilnehmer am Datenaustausch und an der Kommunikation teilhaben zu lassen (siehe Abbildung 4). „Frequency Division Multiple Access“ (FDMA) teilt den verfügbaren Kommunikationsraum in mehrere Unterräume verschiedener Trägersignalfrequenzen auf, welche benachbart aber auch verstreut im Frequenzspektrum liegen können. Die einzelnen Unterfrequenzen werden je nach Technologie nochmals unterteilt in sog. Subträgerfrequenzen (engl. „sub carrier“), um so Daten in einem Kanal zu splitten und parallel zu übertragen (z.B. bei Wireless LAN). Um eine Datenübertragung jedes Kommunikationsteilnehmers zu ermöglichen, wird jedem Teilnehmer mittels „Time Division Multiple Access“ (TDMA) ein Zeit-Slot zugewiesen, in dem dieser Daten übertragen kann. Während eines Zeit-Slots sind alle weiteren Teilnehmer im Empfangsmodus und werten je nach Bedarf die empfangenen Informationen aus. Um eine parallele Datenübertragung mehrerer Teilnehmer während eines Zeit-Slots in einem Kanal zu ermöglichen, wird das „Code Division Multiple Access“ (CDMA) Verfahren eingesetzt. Hierbei hat jeder Teilnehmer eine persönliche Signatur bzw. Code, welcher vor der eigentlichen Modulation mit den Nutzdaten verknüpft wird. Erhält ein Empfänger nun einen Datenstrom, welcher sich aus der Überlagerung mehrerer Teilnehmer ergibt, kann der individuelle Datenstrom mit Hilfe des jeweiligen teilnehmerspezifischen Codes rekonstruiert werden.

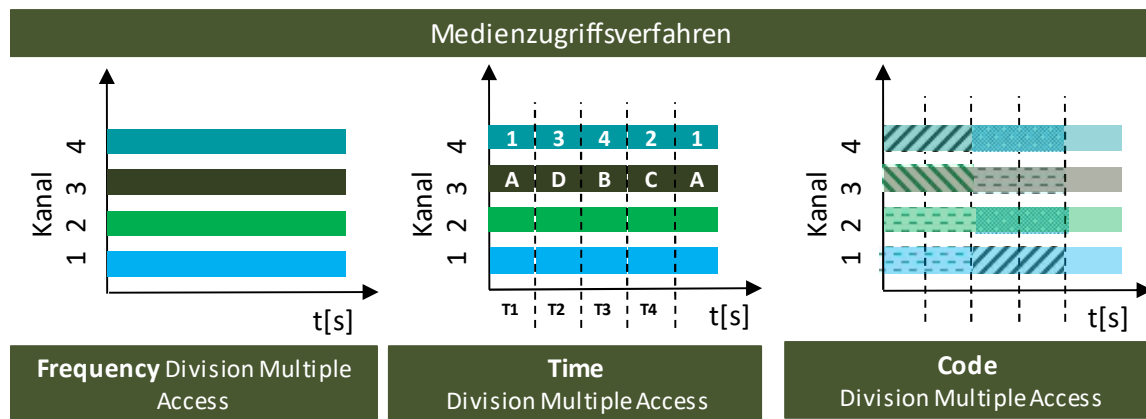


Abbildung 4 Auszug gängiger Medienzugriffsverfahren

Neben den Medienzugriffsverfahren spielt die Übertragungsgüte bei der Datenübertragung eine wichtige Rolle. Dabei nimmt das sogenannte Signal-Rausch-Verhältnis bzw. Signal-Noise-Ratio (SNR) einen wichtigen Stellenwert bei der Klassifikation der Übertragungsgüte ein. Das SNR ist ein Faktor bzw. numerischer Wert, welcher die Leistung eines modulierten Trägersignals in Relation zum Umgebungsrauschen setzt (z.B. thermisches Rauschen des Empfängerschaltkreises, Interferenzen anderer elektromagnetischer Emittoren etc.). Ist das SNR niedrig, ist eine Rekonstruktion der Nutzdaten schwierig oder kaum durchführbar, da das empfangene Signal in Amplitude, Frequenz und Phasenlage durch das Umgebungsrauschen zu stark verändert ist. Es ist somit nicht klar und eindeutig vom Umgebungsrauschen trennbar und wird gefiltert. Bei hohem SNR zeichnet sich das Trägersignal deutlich vom Rauschen ab. Das auftretende Umgebungsrauschen ist zwar ebenfalls im Trägersignal vorhanden, kann aber durch entsprechende Filterstufen vom eigentlichen Signal getrennt werden.

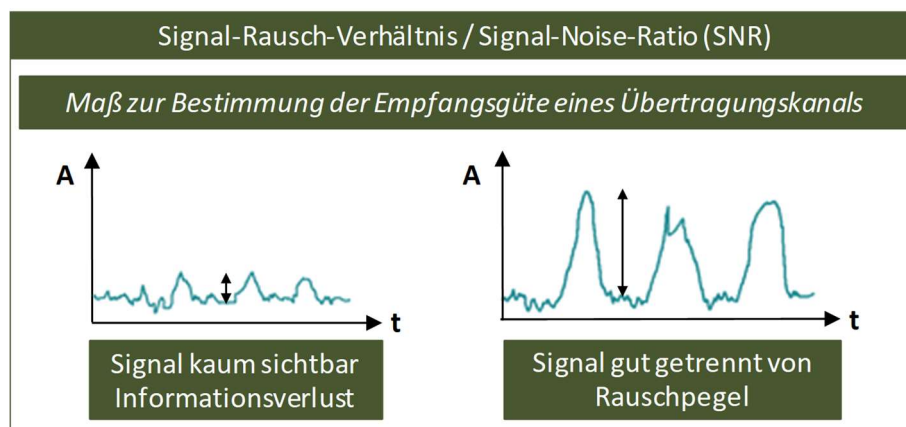


Abbildung 5 Veranschaulichung des Signal-Rausch-Verhältnisses

In diesem Kontext stellt die Angabe der sogenannten „Receiver Sensitivity“ eine Aussage darüber bereit, wie schwach ein Signal bzw. wie niedrig das SNR eines Signals sein darf, bevor ein Empfänger nicht mehr in der Lage ist, eine Signalrekonstruktion durchzuführen. Je höher diese ist, umso stabiler und rauschärmer muss die entsprechende Elektronik ausgeführt sein, um nicht zusätzliches Rauschen auf das empfangene Signal zu addieren.

Neben der Signalbewertung beschreibt der „Quality of Service“ (QoS) die Dienstgüte, indem er die an das Signal gestellten Anforderungen bewertet. Zur Bestimmung des QoS können verschiedene Parameter wie z.B. die Latenz (Verzögerung durch Signallaufzeit), die Bitfehlerrate und der Jitter (Ungenauigkeiten im Übertragungstakt) herangezogen werden. Neben dem SNR limitiert der QoS die mögliche Einsetzbarkeit einer Funktechnologie für ein Anwendungsszenario. Der QoS wird wiederum maßgeblich von der zugrundeliegenden Funktechnologie und einstellbaren internen und externen Parametern

wie z.B. Datenrate, Payloadgröße, Preamblegröße, Sendestärke, Witterungsbedingungen, geographische Gegebenheiten uvm. beeinflusst.

An die Kommunikationstechnologien im Cluster Wald und Holz werden durch die natürlichen Randbedingungen besondere Anforderungen gestellt, die dem Ziel, einen hohen QoS zu erreichen, entgegenstehen. Weiterhin muss die eingesetzte Hardware ausreichend robust sein, um unterschiedlichen Witterungen und Wetterlagen Stand zu halten. Außerdem sind mechanische Belastungen, z.B. durch Stöße, Herunterfallen o.ä. nicht auszuschließen. Um entsprechend geeignete Geräte zu finden, ist eine umfassende Marktrecherche notwendig. Neben der mechanischen und wetterbedingten Belastung der Geräte sind dabei auch ihre Handhabbarkeit sowie ihre unterstützten Kommunikationstechnologien zu bewerten. Eine solche Übersicht wird aktuell erstellt und in der folgenden Version dieses Standpunktes veröffentlicht.

2 Eigenschaften drahtloser Übertragungstechnologien

Der durch Funktechnologien genutzte Übertragungskanal führt zu einigen Besonderheiten, welche sich von kabelbasierten Technologien stark unterscheiden. Da sich die ausgestrahlten Wellen im Medium Luft in verschiedene Richtungen ausbreiten, können Reflexionen bzw. Überlagerungen auftreten (siehe Abbildung 6), die das Originalsignal verändern können. Hierbei kann das Signal in Amplitude, Frequenz und Phasenlage verändert werden. Treten z.B. Reflexionen in Größenordnung der Wellenlänge des Trägersignals auf, überlagern diese das Signal, sodass im ungünstigsten Fall eine dauerhafte Resonanz stattfindet, die die Gesamtübertragung weitestgehend ausfallen lässt.

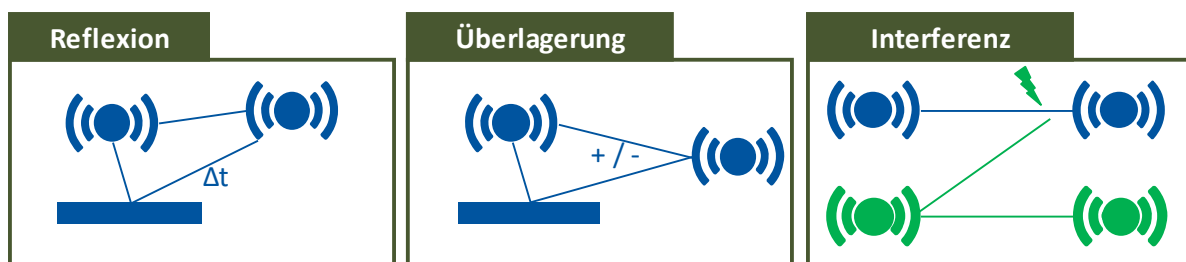


Abbildung 6 Direkte Kanaleigenschaften bzgl. der Signalausbreitung

Außerdem müssen erweiterte Maßnahmen bei der Interaktion zwischen Teilnehmern getroffen werden (siehe Abbildung 7). Während bei kabelbasierten Übertragungen eine sogenannte Kollision von parallel ausgesandten Datenpaketen („Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection“) durch Senden und gleichzeitiges Abhören des Mediums von allen Teilnehmern festgestellt werden kann, ist bei Funktechnologien der Fall möglich, dass eine solche Kollision nicht zwangsläufig von allen Teilnehmern erfasst werden kann („Hidden Station“-Problem). Dies ist der Tatsache geschuldet, dass ein Funk sender beim Übertragen von Daten nicht gleichzeitig mithorchen kann. Hierbei sind Verfahren notwendig, die den jeweiligen Teilnehmern eine Kollision mitteilen und eine erneute Übertragung so geplant wird, dass eine erneute Kollision nicht stattfindet („Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance“ bzw. „Listen before Talk“).

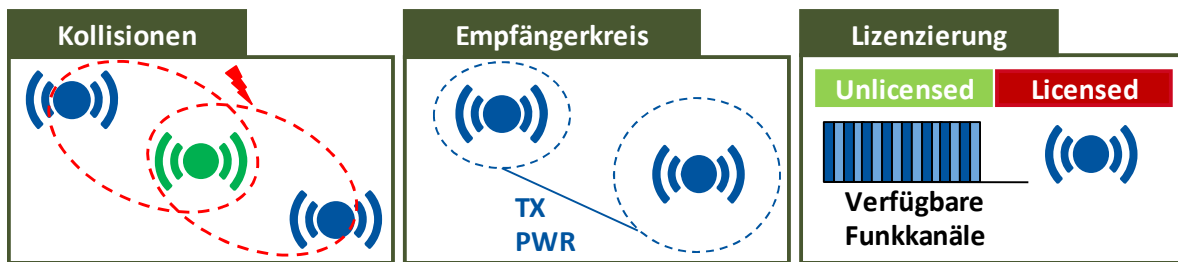


Abbildung 7 Eigenschaften bzgl. der Interaktion und Koexistenz von Funktechnologien

Deshalb muss hier ebenfalls zwischen lizenzierten und unlizenzierten Spektren unterschieden werden. Bei unlizenzierten Spektren können Funktechnologien „frei“ eingesetzt werden, ohne dass der Nutzer der Technologie für die eingesetzte Infrastruktur Gebühren zahlen muss. Zusätzlich ist das Spektrum für weitere Technologien offen, sodass hier Koexistenzen zwischen verschiedenen Technologien auftreten können. Deshalb wird in solchen Spektren „Listen before Talk“ praktiziert, um unabsichtliche Interferenzen und Kollisionen zu vermeiden. Bei lizenzierten Spektren (z.B. Mobilfunk) wiederum tritt eine Koexistenz kaum bzw. gar nicht auf. Zwar müssen weiterhin Verfahren zur Kollisionsvermeidung eingesetzt werden, allerdings kann dies besser koordiniert und geplant werden, da das Spektrum häufig von einem sogenannten Operator verwaltet wird. Im Gegenzug werden dafür Gebühren für die Nutzung dieses Spektrums erhoben.

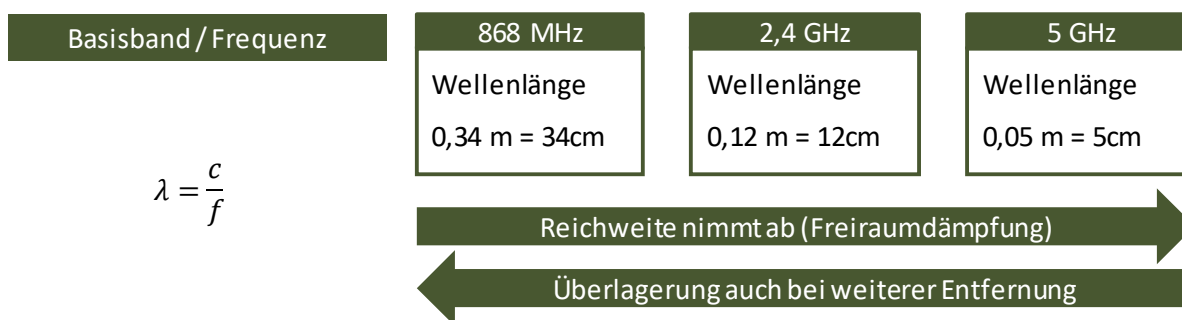


Abbildung 8 Zusammenhang zwischen Frequenz, Wellenlänge und Reichweite

Je nach Anforderungen ist die Trägersignalfrequenz bzgl. Reichweite und unbeabsichtigten Überlagerungen zu prüfen. Bei zunehmender Trägersignalfrequenz nimmt die Reichweite bei gleichbleibender Sendeleistung ab (Abbildung 8). Soll die Reichweite erhöht werden, muss mehr Sendeleistung aufgebracht werden oder das Signal muss mittels Repeater o.ä. weitergereicht werden. Mit einer höheren Trägersignalfrequenz ist es aber wiederum möglich, die maximal mögliche Datenrate zu erhöhen. Da das Trägersignal in einem höheren Frequenzspektrum liegt, kann die maximale Bandbreite des Zwischenfrequenzmodulators erhöht werden, ohne dass sich Trägersignalfrequenz und Zwischenfrequenz überlappen. Bei niedrigeren Trägersignalfrequenzen erhöht sich die maximal mögliche Reichweite mit sinkender Datenrate. Aufgrund der höheren Wellenlänge kann es aber passieren, dass Überlagerungen auch noch bei weiteren Entfernungen auftreten und das Signal unerwartet verändern.

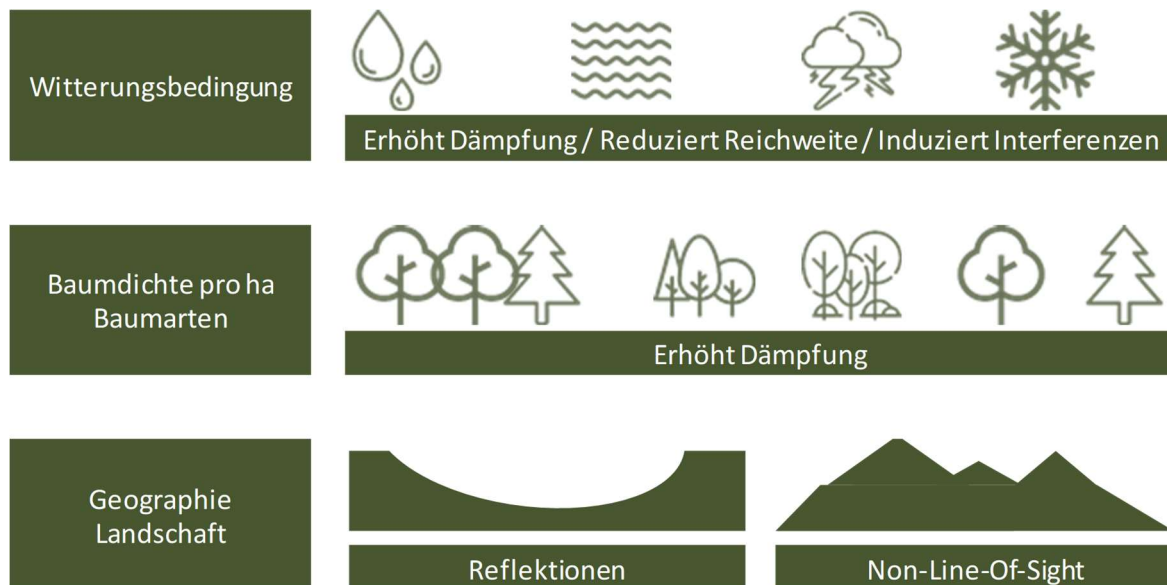


Abbildung 9 Einfluss von Witterungsbedingungen und geographischen Gegebenheiten auf Funktechnologien

Abschließend beeinflussen vorherrschende Umgebungsbedingungen ebenfalls die Signalausbreitungseigenschaften von Funktechnologien (Abbildung 9). Witterungsbedingungen können die Reichweite verringern, da die Raumdämpfung aufgrund von Feuchtigkeit oder elektromagnetischer Entladungen steigt. Auch die Baumdichte und die Art des Waldes wirken sich direkt auf die Ausbreitungseigenschaften aus, indem Wellen gedämpft, absorbiert oder reflektiert werden. Je nach geographischer Lage muss berücksichtigt werden, ob es sich um ein Tal oder Berg handelt, da die Funkwellen entweder häufiger reflektiert werden oder das Hindernis nicht überwinden können.

Im Folgenden wird auf einige einzelne Funktechnologien eingegangen.

2.1 802.15.1 Bluetooth Classic und Bluetooth Low Energy

Bei Bluetooth¹ handelt es sich um einen seit den 1990er Jahren entwickelten Standard zur funkbasierten Datenübertragung von Peripheriegeräten über kurze Distanzen. Aktuell wird Bluetooth in der Classic-Variante in vielen Consumer-Geräten wie Notebooks, Smartphones, Tablets sowie deren Peripherie eingesetzt, um kabellos Daten zwischen zwei Geräten zu übertragen. Bluetooth Low Energy (BLE) ist aus der Bluetooth Spezifikation als Erweiterung zum herkömmlichen Bluetooth Classic entstanden. BLE zielt auf kleine, energieeffiziente Geräte ab, welche nur unregelmäßig kleine Datenpakete verschicken. Kern der neuen Spezifikation ist das Absetzen sogenannter Advertisement-Pakete zum verbindungslosen Auffinden von Geräten in der Umgebung, welche im Generic Access-Profile standardisiert sind. Weiterhin stellen Geräte über das Generic Attribute-Profile Informationen mittels Services, Charakteristiken und Deskriptoren zu Verfügung, von denen eine Reihe von Informationen in der Bluetooth-Spezifikation standardisiert sind. BLE stellt eine Kerntechnologie im Bereich der IoT-Technologien dar.

Bluetooth Classic als auch BLE nutzen das 2,4 GHz Band und stehen somit in direkter Koexistenz zu z.B. WLAN. Das Spektrum von Bluetooth Classic ist in 79 Funkkanäle mit je 1 MHz Bandbreite unterteilt (Abbildung 10). Das Spektrum von Bluetooth Low Energy ist hingegen in 39 Funkkanäle mit je 2 MHz Bandbreite unterteilt.

¹ <https://www.bluetooth.com/>

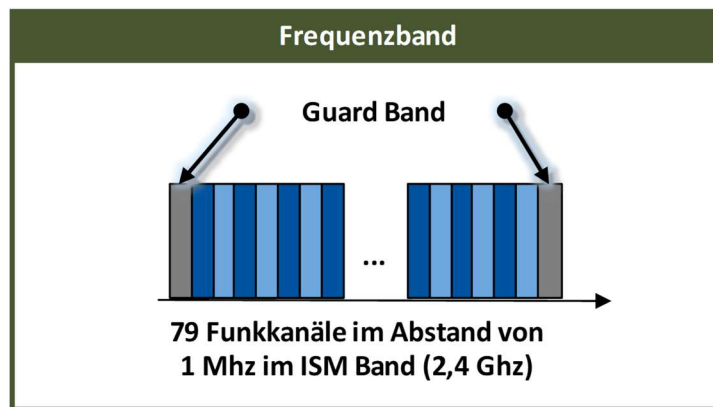


Abbildung 10 Spektrale Aufteilung im Bluetooth-Frequenzband

Zur Modulation der Nutzdaten verwendet Bluetooth das „Gaussian Frequency Shift Keying“- (GFSK) Modulationsverfahren und verändert somit die Frequenz des modulierten Signals in Abhängigkeit vom Binärdatenstrom. Dabei werden steile Flanken der Binärdaten mittels Gaußfilter vorverarbeitet, so dass hochfrequente Anteile des Signals herausgefiltert werden und weniger Bandbreite bei der Übertragung genutzt werden muss. Für die Datenübertragung einzelner Teilnehmer wird „Frequency Hopping Spread Spectrum“ (FHSS) mit „Adaptive Frequency Hopping“ (AFH) und TDMA-Time Slots eingesetzt. FHSS unterteilt, wie FDMA, das Spektrum in verschiedene Kanäle. Zusätzlich wird nach jeder durchgeführten Übertragung die Übertragungsfrequenz gewechselt. Im Spektrum lässt sich somit ein „Springen“ beobachten, wie in Abbildung 11 dargestellt ist. Die minimale Länge eines Slots beträgt $625 \mu\text{s}$ und kann bis zu $3,125 \text{ m}$ betragen. Die sogenannte Hopping-Sequenz, welche die Sprungreihenfolge der Frequenzen vorgibt, wird bei Bluetooth vom Koordinator, dem Master, vorgegeben und mittels eines Berechnungsverfahrens aus der MAC-Adresse berechnet.

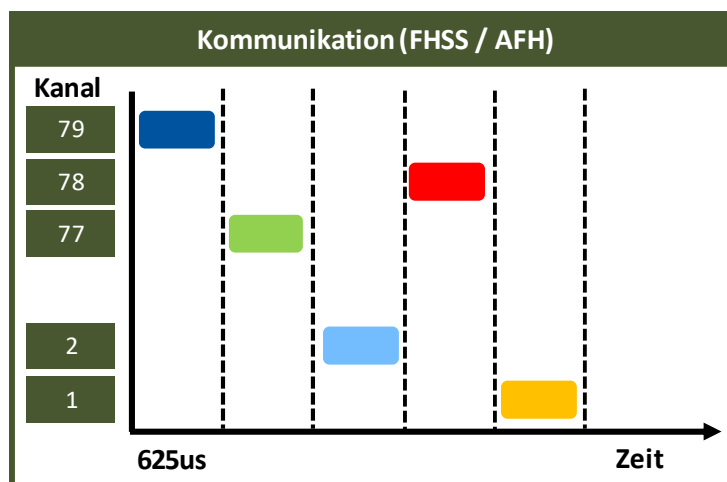


Abbildung 11 Frequency Hopping Spread Spectrum Verfahren bei Bluetooth

Da die gewählten Frequenzen zufällig in bereits von anderen Funktechnologien (z.B. WLAN) genutzten Frequenzbändern liegen können, können ebenfalls Störungen bei der Übertragung auftreten. Deshalb wird mittels AFH bei ausgewählten Frequenzen ein „Channel Assessment“ zur Bestimmung der Eignung des Kanals durchgeführt (z.B. mittels Bestimmung des SNR oder der Bitfehlerrate). Ist ein Kanal nicht geeignet, wird dieser in einer „Black List“ vermerkt und im zukünftigen Verlauf der Übertragung nicht mehr gewählt.

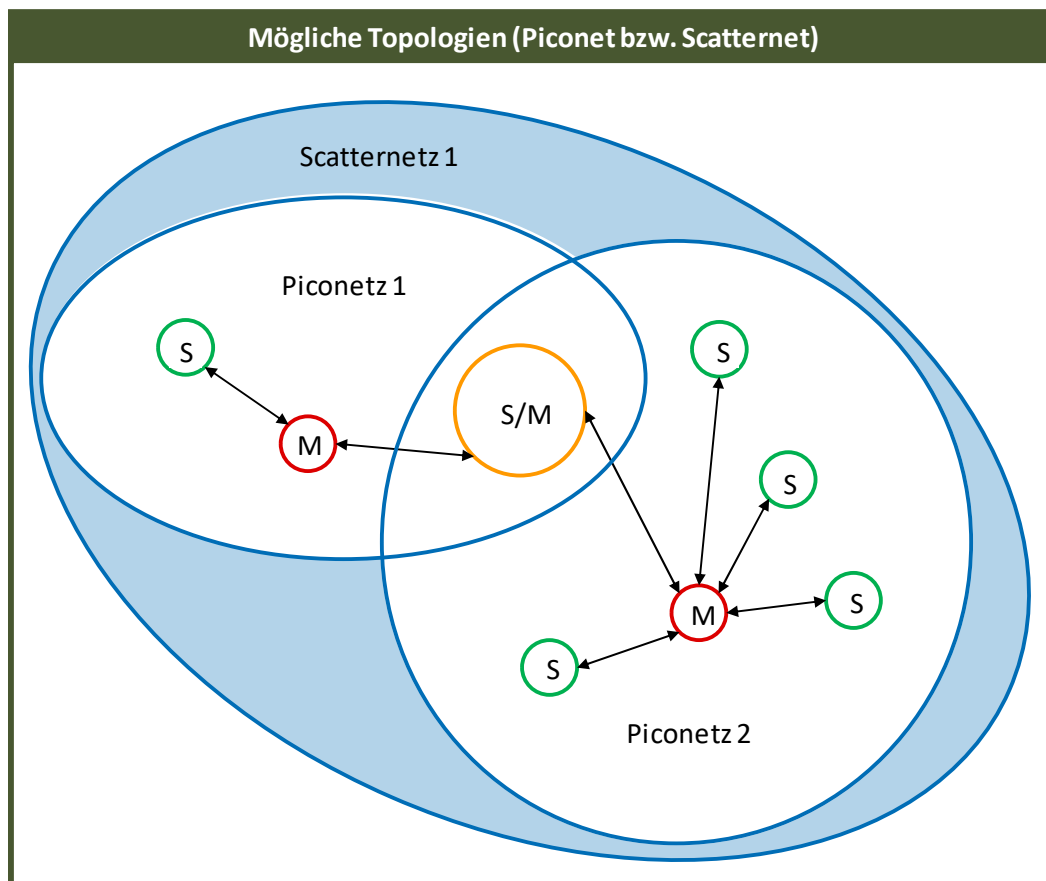


Abbildung 12 Netzwerktopologien von Bluetooth Classic

Ein Bluetooth Netzwerk besteht entweder aus einem Piconet oder einem Scatternet (siehe Abbildung 12). Ein Piconet kann bis zu 7 Teilnehmer inklusive Master verwalten. Da ein Bluetooth-Teilnehmer mehrere Verbindungen aufnehmen kann, ist es möglich, dass ein Teilnehmer in zwei Netzen angemeldet ist. Bei einem solchen Scatternet kann dieser Teilnehmer als Brücke zwischen den zwei Piconetzen agieren. Die Datenübertragungsrate von Bluetooth Low Energy 4.0 beträgt 1 Mbit/s bei einer Entfernung von bis zu 100 m im freien Gelände. Mit der Spezifikation 5.0 beträgt die Reichweite bis zu 400 m bei einer Verdopplung der maximalen Datenrate auf 2 Mbit/s.

2.2 LoRa, LoRaWAN und The Things Network

Long Range (LoRa) ist eine auf der Frequenzspreizmodulation vom „Chirp Spread Spectrum“ (CSS, dt. Zirpenfrequenzspreizung) abgeleitete Übertragungstechnologie zur energieeffizienten Datenübertragung, welche von der Firma Semtechs erstmalig 2012 in Form von LoRa RF-Chips vertrieben wurde. LoRa operiert im 433, 868 oder 915 MHz Band und hat eine Reichweite im Bereich von 10 bis 20 km bei einem verfügbaren Linkbudget² zwischen 155 und 170 dBm und einer Datenrate von bis zu 50 kBit/s. Die Signalübertragung ist unempfindlich gegenüber Störungen, Mehrwegeausbreitung und Fading-Effekten. Die Netzarchitektur ist sternförmig aufgebaut, sodass Endgeräte mit Gateways kommunizieren, welche über eine Internetschnittstelle verfügen. LoRa wird als Basistechnologie für das Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) genutzt. LoRaWAN erweitert LoRa um ein kontrolliertes Medienzugriffsverfahren für mehrere Teilnehmer sowie um Protokolle zum Zugriff auf LoRaWAN-Gateways, welche eine Konnektivität zum Internet bereitstellen. Die Infrastruktur eines LoRaWAN-Netzwerks (Abbildung 13) wird je nach Land und Region entweder durch öffentlich-private oder kommerzielle

² Dt.: Leitungsübertragungsbilanz; ein Maß für die Qualität eines Übertragungskanals, das sich aus Sendeleistung, Empfängerempfindlichkeit, Antennengewinn und Freiraumdämpfung berechnet.

Gateways bereitgestellt. In Deutschland ist der Aufbau eigener Netze möglich oder es können kostenfrei die Gateways des „The Things Network“ genutzt werden, die sich primär in Stadtnähe befinden. Diese aus den Niederlanden stammende Initiative verfügt aktuell über Gateways in 147 unterschiedlichen Ländern.³ Der Zugang zum Netzwerk ist somit frei oder mit zu entrichtenden Netzgebühren verbunden. LoRaWAN eignet sich insbesondere zur Sensordatenübertragung in entlegenen Gegenden. LoRaWAN ist von der LoRa-Alliance spezifiziert und wurde speziell für das „Internet of Things, Services and People“ (IoTSP) und den Einsatz in batteriebetriebenen Endgeräten entwickelt, so dass ein Großteil der Anforderungen des IoT durch LoRaWAN erfüllt wird.

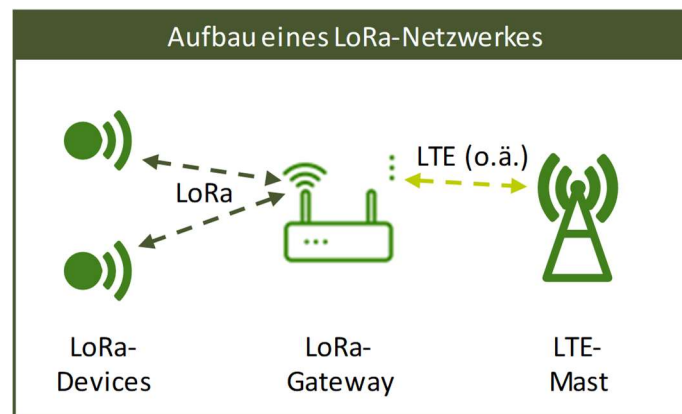


Abbildung 13 Aufbau eines LoRa-Netzwerkes

Für die Nutzung von LoRaWAN stellen Plattformanbieter Möglichkeiten bereit, mittels Zugriffsschlüssel (API-Key und Geräteerkennung) Informationen, die über ein LoRaWAN-Gateway empfangen wurden, nutzen zu können. The Things Network ist eine solche, in diesem Fall auch quelloffene Plattform zur Realisierung von IoTSP-Projekten. Die Initiative bietet nicht nur Gateways bzw. deren Nutzung innerhalb der Community an, sondern stellt auch eine cloudbasierte Plattform bereit, an die Messwerte über LoRa gesendet werden können. Auf dieser Plattform können dann Auswertungen durchgeführt oder die Werte durch externe Applikationen abgerufen werden.

2.3 Sigfox

Sigfox ist eine Kommunikationstechnologie bzw. ein Netzwerkprotokoll, welches Analogien zu LoRa bzw. LoRaWAN aufweist, allerdings die Ultra-Narrow-Band Modulation im 868 bzw. 905 MHz-Band nutzt. Sigfox wird von einem französischen Telekommunikationsunternehmen unter selbigem Namen vertrieben, welches als Provider den Ausbau des eigenen Netzes weltweit vorantreibt. Ziel ist es, Geräte mit geringerer Energie mit dem Internet zu verbinden und so zur Teilnahme am IoT zu befähigen. Die erforderliche Hardware sowie die Nutzungsgebühren sollen gering gehalten werden. Es werden aber auch nur geringe Datenraten angeboten. Typische Anwendungen für diese Technologie sind dabei z.B. Heizungs- oder Stromzähler in Gebäuden, deren Messwerte über das Internet an einen Energieversorger übermittelt werden. Während Sigfox in Städten bis zu 10 km per Funk überbrücken kann, sind auf freiem Feld Reichweiten bis zu 50 km möglich. Für Sigfox stellt der Betreiber die Gateways bereit, wie man es aus dem Mobilfunknetz gewohnt ist.

2.4 802.11 Wireless LAN

Das Wireless Local Area Network (WLAN) wurde durch den 802.11 Standard des „Institute of Electrical and Electronics Engineers“ (IEEE) auf physikalischer und MAC-Ebene definiert. Mit diesem Standard wird die kabellose Verbindung von fixierten, portablen und mobilen Stationen in einem lokalen Netz-

³ <https://www.thethingsnetwork.org/>

werk definiert. Es existieren heutzutage verschiedene Umsetzungen des 802.11-Standards, mit unterschiedlichen Datenraten und in verschiedenen Frequenzbändern. WLAN bündelt mehrere kleinere Kanäle zu einem Übertragungskanal mittels OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), um hohe Datenraten bei gleichzeitig hoher Reichweite zu erreichen. WLAN-Netze werden im Infrastructure Mode („klassischer Router“) oder im ad-hoc Modus (flexible Verbindung) betrieben. Der heutzutage gängigste Standard 802.11n wurde 2009 entwickelt und auf den Markt gebracht. 802.11n kann im 2,4 GHz ISM- sowie im 5 GHz ISM-Band operieren. In diesen Bändern beträgt die Kanalbandbreite 20 oder 40 MHz. Mit 802.11n wurde es erstmals möglich, mehrere Antennen im sogenannten MIMO (Multiple Input Multiple Output) zu betreiben, und so Datenraten bis zu 600 Mbit/s zu ermöglichen. Der 802.11ac-Standard, welcher 2014 entwickelt wurde, setzt sich nach und nach durch, da dieser noch einmal höhere Datenraten ermöglicht. Dieser Standard ist eine Weiterentwicklung von 802.11n im 5 GHz Band, baut die Kanalbandbreite auf 80 MHz aus und ermöglicht Channel Bonding zwischen zwei Kanälen, d.h. zusammenfassen von zwei 80 MHz Kanälen zu einem 160 MHz Kanal, sodass theoretische Datenraten von 1 bis 6,93 Gbit/s möglich werden. In der Praxis werden jedoch meist Datenraten um 1,3 Gbit/s erreicht.

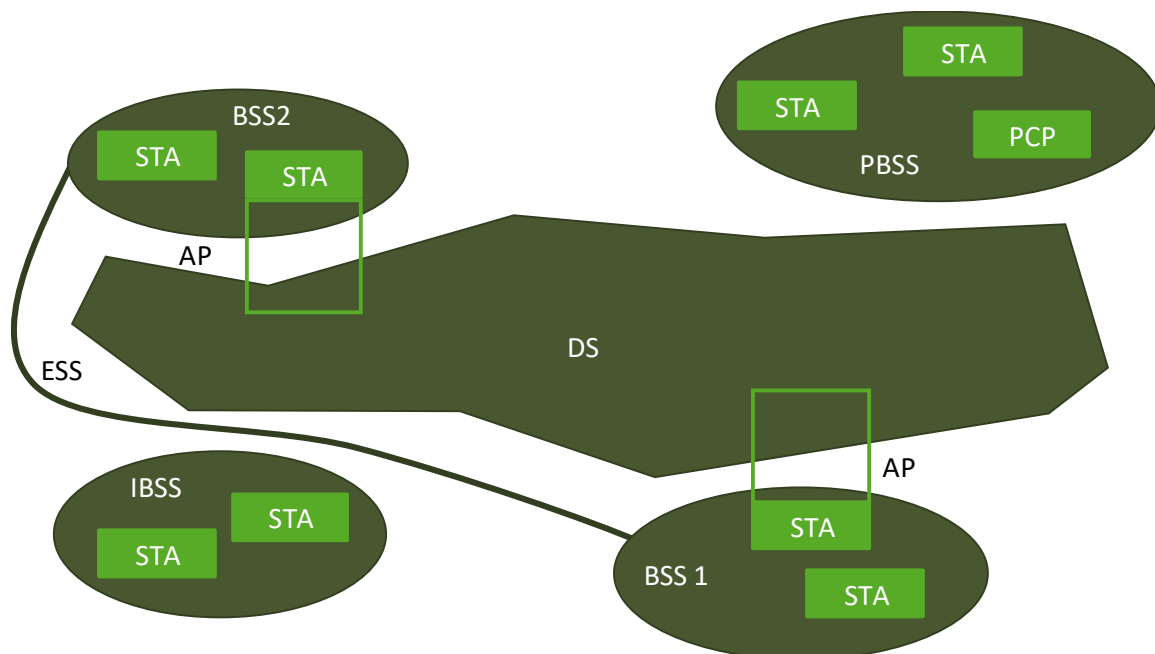


Abbildung 14 Mögliche 802.11-Netzwerkarchitekturen

Der Grundbaustein eines WLAN-Netzwerkes ist der Basic Service Set (BSS). Ein BSS definiert eine Menge an Stationen (STA) die miteinander kommunizieren, wie in Abbildung 14 dargestellt. 802.11 stellt zwei Betriebsarten zur Verfügung: ad-hoc und infrastrukturell. Im ad-hoc Modus formen die Stationen ein Independent Basic Service Set (IBSS). Dort ist kein zentraler Access Point (AP) nötig, die STAs kommunizieren nach einer Synchronisationsphase direkt untereinander. Hat eine STA direkten Zugriff auf das Internet, so haben alle anderen dies durch diese STA auch. Dem IBSS ähnlich ist ein Personal Basic Service Set (PBSS), in dem jedoch ein PBSS Control Point (PCP) existiert, der die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Teilnehmern managt. Infrastrukturelle WLANs besitzen einen AP pro BSS, der die Verwaltung des Netzwerkes übernimmt, und über den jegliche Kommunikation läuft. Dieser AP ist meist mit einem verteilten System (DS, Distributed System) verbunden, sodass durch das DS andere BSS erreicht werden können. Diese Zusammenschaltung von BSS ergibt ein Extended Service Set (ESS). Durch das DS können die einzelnen Stationen dann auf andere Netzwerke, wie beispielsweise kabelgebundene Netzwerke oder das Internet, zugreifen. Es ist ebenfalls möglich, dass APs sich zuerst mit einem Wireless Switch verbinden, der dann mit dem DS kommuniziert.

2.5 UMTS und LTE

Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS) bzw. 3G ist die dritte Mobilfunkgeneration nach dem GSM-Standard, welche höhere Datenraten und weitere multimediale Dienste anbietet. Mittels spezieller Erweiterungen werden in manchen Empfangsbereichen hohe Datenraten erreicht (bis zu 384 kbit/s), welche Video-Telefonie bzw. Streaming ermöglichen. UMTS teilt die Gesamtübertragung in einen Up- und einen Downlink ein, sog. Frequency Division Duplex (FDD), welche jeweils in unterschiedlichen Frequenzbereichen liegen. Die Trennung verschiedener Frequenzen für die jeweiligen Mobilfunkbetreiber wird mittels FDMA realisiert, wobei das Uplink-Spektrum im Bereich 1920 - 1980 MHz und das Downlink-Spektrum im Bereich 2110 - 2170 MHz liegt. Zur Kommunikation mehrerer Teilnehmer mit einer Basisstation in einer Zelle wird CDMA bei einem Kanalabstand von 5 MHz eingesetzt. Eine Erweiterung von UMTS ist der sogenannte High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), welcher Datenraten bis zu 42,2 Mbit/s liefern kann. Die wesentlichen Merkmale von HSDPA sind dynamische Anpassungen der Datenlastverteilungen von Basisstation zu Teilnehmer als auch Anpassungen der einzelnen Links auf Basis gelieferter Kanalqualitäten mittels Adaptiver Modulation und Kodierung (AMC). Die Übertragung von Nutzdaten geschieht in Transmission Time Intervals (TTI) von drei Zeitschlitzen (Slots) mit je 2 ms Dauer auf einem dedizierten Kanal (High Speed Download Shared Channel, kurz HS-DSC). Die Kanalqualität (Channel Quality Indicator, kurz CQI) wird der Basisstation vom jeweiligen Teilnehmer alle 2 ms mitgeteilt. In Abhängigkeit vom CQI werden die Anzahl zugewiesener Übertragungskanäle als auch die Modulationsart und Modulationsparameter für das jeweilige Endgerät festgelegt und mitgeteilt. Je nach CQI können somit mehr Kanäle und Modulationsarten mit höherer Symbolübertragung für ein Endgerät eingestellt werden, was eine Erhöhung der Datenrate als Folge hat.

Die Mobilfunkgeneration 4G bzw. Long Term Evolution (LTE) stellt nach UMTS über HSDPA einen weichen Migrationspfad zu höheren Datenraten als auch alternativen Übertragungstechniken dar. LTE verwendet OFDMA- (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) und MIMO-Antennentechnologien, um die maximale Datenrate durch Parallelisierung der Datenströme zu erhöhen. Weiterhin unterstützt LTE, im Gegensatz zu UMTS, verschiedene Kanalbandbreiten (1 bis 20 MHz) und kann somit flexibel in unterschiedlichen Frequenzspektren eingesetzt werden. Durch MIMO-Technik können die Übertragungslatenzen der Vorgängergeneration im besten Fall auf bis zu maximal 5 ms heruntergesetzt werden. Da LTE aufgrund der Modularität und Parametrierbarkeit verschiedener Träger und Modulationsarten unterschiedliche Konstellationen aufweisen kann, wurden verschiedene Kategorien von LTE definiert, welche sich jeweils in Downstream, Upstream, MIMO und Downlinkmodulationsarten unterscheiden (LTE Cat 4, 6, 9, 12, 15, 16, 18 etc.). LTE umfasst die Frequenzbereiche 800 MHz, 1800 MHz, 2000 MHz sowie 2600 MHz.

2.6 5G

5G beschreibt die nächste Mobilfunkgeneration nach LTE. Neben einer deutlichen Erhöhung der Datenrate (flexibel wählbare Kanalbandbreiten) bei gleichzeitiger Reduktion des Stromverbrauchs soll der neue Standard mittels „Beamforming“ Funksignale gezielt an Geräte schicken, um so eine konstante Signalqualität zu garantieren. Weiterhin soll die maximale Anzahl an Teilnehmern pro Funkmast erhöht werden. 5G soll eine Paketfehlerrate zwischen 10^{-5} bis 10^{-9} bei einer Ende-zu-Ende Latenz im Bereich weniger Millisekunden besitzen. Neben der Nutzung neuer Frequenzbänder im mittleren und oberen GHz-Frequenzband führt 5G im wesentliche vier technologische Erweiterungen ein, die den vorherigen Mobilfunkstandard LTE bzgl. Anwendungsszenarien und Möglichkeiten erheblich erweitern.

5G unterstützt die applikationsspezifische Anpassung der Subträgerkanalbandbreite, wie in Abbildung 15 dargestellt. Somit kann je nach Anwendung die maximale Datenübertragungsrate erhöht oder verringert werden. Dadurch können Kanäle ebenfalls aufgeteilt oder zusammengefasst werden, wenn es die Situation verlangt.

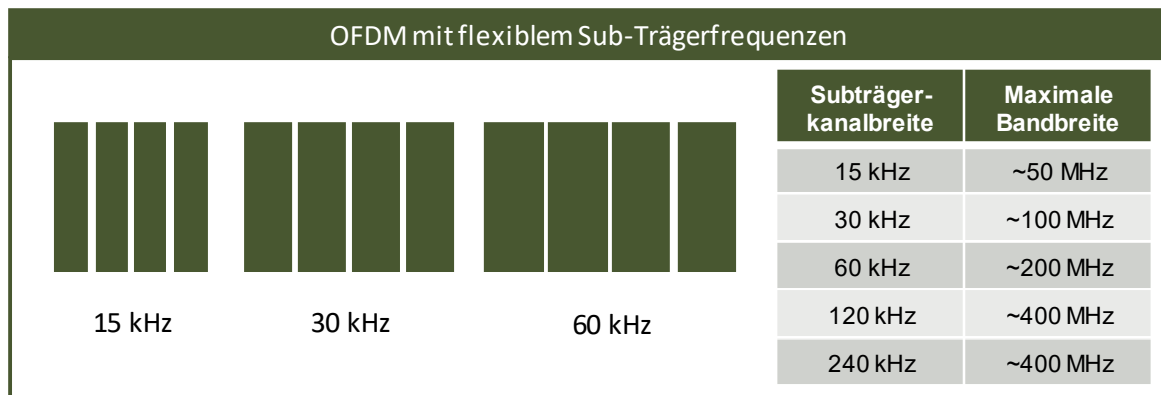


Abbildung 15 Flexibel wählbare Kanalbandbreiten

Weiterhin wird die zeitliche Aufteilung der Paketübertragung in sog. Mini-Slots unterteilt. Bei LTE wird für jedes Gerät ein Zeitslot reserviert, in dem Daten übertragen werden können. Müssen keine Daten übertragen werden oder benötigt das Gerät nicht die volle reservierte Breite des Slots, bleibt die restliche Zeit ungenutzt. 5G erweitert das Konzept, indem Mini-Slots definiert werden, welche von den jeweiligen Geräten allokiert werden. Somit können in einem reservierten Zeitslot mehrere Geräte nacheinander Daten verschicken, ohne dass die restliche Zeit ungenutzt bleibt (siehe Abbildung 16).

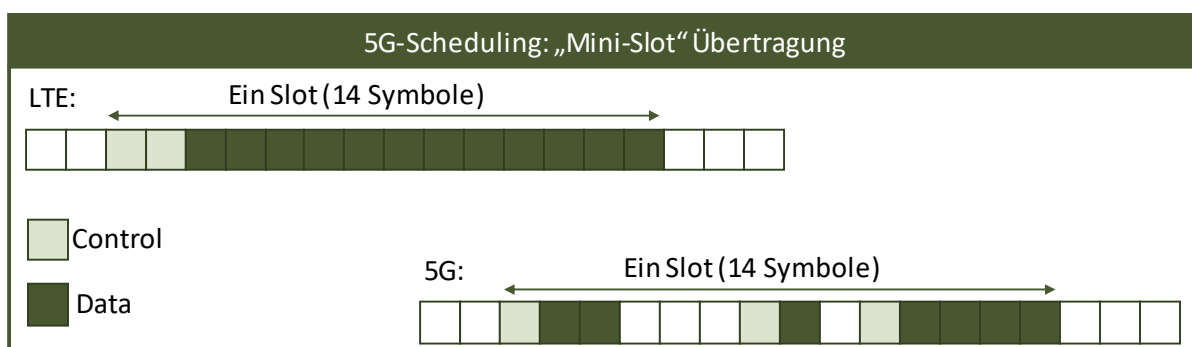


Abbildung 16 Schematische Darstellung von Mini-Slots

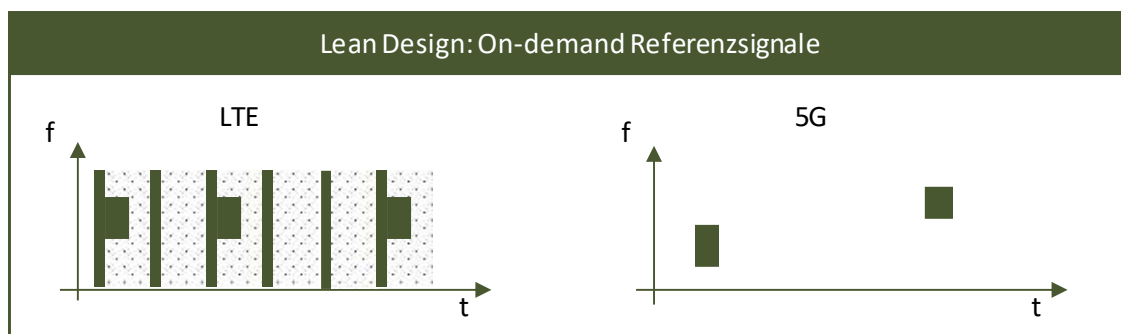


Abbildung 17 Schematische Darstellung der Reduktion von on-demand Referenzsignalen

Die dritte wesentliche Änderung besteht in der Präsenz von Referenzsignalen zur Basisstation. Während bei LTE neben der eigentlichen Datenübertragung fortlaufend Nachrichten und Signale zur Synchronisierung ausgetauscht werden, ist es bei 5G beabsichtigt, diese Referenzsignale ebenfalls vorher

zwischen Gerät und Basisstation auszutauschen. Dadurch soll im Wesentlichen der Stromverbrauch reduziert werden (siehe Abbildung 17).

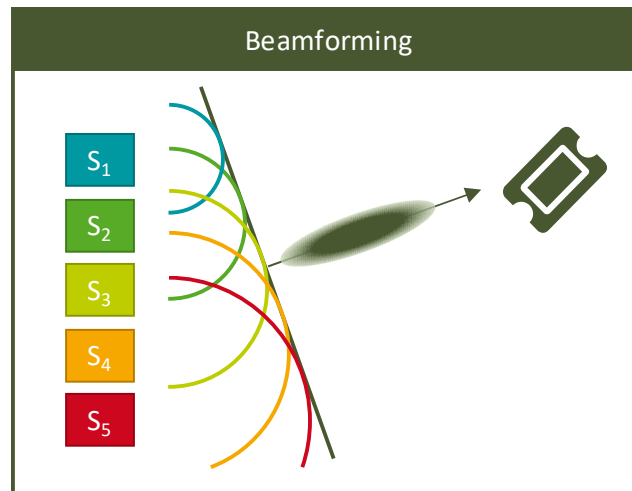


Abbildung 18 Prinzipskizze des Beamforming-Ansatzes

Die letzte wesentliche Erweiterung stellt das „Beamforming“ dar. Während bisher herkömmliche Antennen in Form von Richtfunkantennen oder omnidirektionalen Antennen eingesetzt werden, werden bei 5G sogenannte „Phased-Array-Antennas“ eingesetzt. Diese Art der Antenne besteht aus vielen einzelnen Antennen, dem sogenannten Antennenarray. Durch eine Phasenverschiebung zwischen den jeweils ausgesendeten Signalen wird die Interferenz zwischen den einzelnen Antennen beeinflusst. Dies ermöglicht es, in bestimmte Richtungen konstruktive Interferenzen hervorzurufen, während in andere Richtungen destruktive Interferenzen auftreten und das Signal dort nicht vorhanden ist. Durch die Variation der Phasenlagen kann die Richtung der konstruktiven Interferenz, also die Richtung in die das Signal verstärkt abgestrahlt wird, gesteuert werden. Auf diese Weise ist es möglich, das Signal gezielt in Richtung des Empfängers zu verstärken.

2.7 802.15.4 ZigBee

ZigBee bzw. 802.15.4 wurde als Technologie zum Aufbau drahtloser Netze mit geringem Datenaufkommen und niedrigem Energieverbrauch entwickelt. ZigBee baut ein Mesh-Netzwerk auf, sodass Informationen über mehrere Knoten an einen Zielknoten übertragen werden und so auch größere Distanzen überbrückt werden können, ohne dass die Nutzung eines zentralen Gateways nötig ist. Ein ZigBee-Netzwerk besteht in der Regel aus einem ZigBee-End Device (ZED), einem ZigBee-Router (ZR) und einem ZigBee-Coordinator (ZC), wie in Abbildung 19 dargestellt. Der zentrale Kern eines ZigBee-Netzwerkes bildet der ZC, welcher das Netzwerk mit festgelegten Parametern startet. Nach Start des Netzwerkes übernimmt dieser automatisch die Rolle eines ZR. Nach erfolgreichem Start kann ein ZED das gestartete Netzwerk betreten. ZED nehmen üblicherweise nicht am Routing von Datenpaketen teil und können in einen Schlafmodus übergehen. Die Kommunikation mit dem Netzwerk findet mit dem Router statt, an dem sich das ZED angemeldet hat. Befindet sich ein ZED im Schlafmodus, hält der jeweilige ZR Datenpakete für das ZED solange vor, bis dieses aus dem Schlafmodus zurückkehrt. Jedes ZED kann, soweit die entsprechende Firmware des Gerätes dies zulässt, ebenfalls als ZR im Netzwerk in Aktion treten und das ZigBee-Netzwerk somit erweitern. Das Netzwerk kann entweder als Baum- oder Mesh-topologie erstellt werden. Bei einer Baumtopologie weist der entsprechende ZR einem neu beigetretenem ZED eine entsprechende 16-Bit-Adresse zu. Bei einer Meshtopologie werden Adressen zufällig vergeben. Potentielle Adresskonflikte müssen dann im Netzwerk erkannt und behoben werden. Zwischen den einzelnen Geräten sind Entfernungen von bis zu 100 m möglich. Eingesetzt werden ZigBee-

Netzwerke insbesondere in der Heimautomatisierung und zum Aufbau kurzreichweitiger Sensornetze. Ähnliche Einsatzgebiete bedienen auch weitere Standards, wie beispielsweise Z-Wave oder EnOcean, die hier nicht im Detail erläutert werden, da Vor- und Nachteile aller Technologien sich stark ähneln.

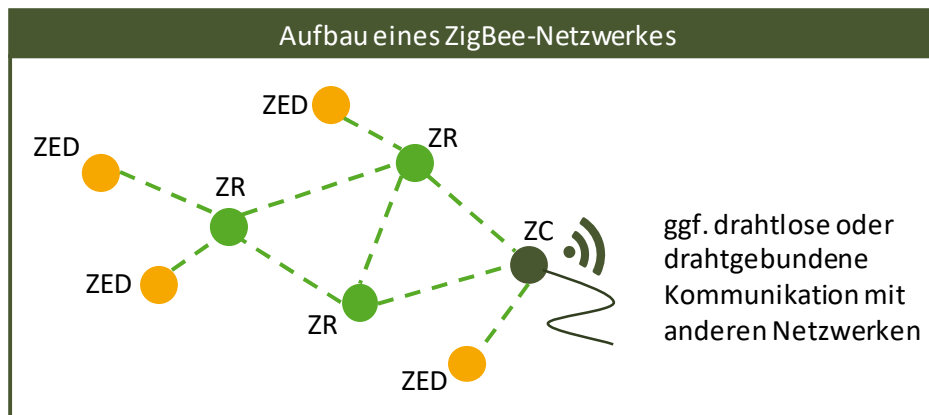


Abbildung 19 Aufbau eines ZigBee-Netzwerkes

2.8 Thread

Thread ist eine auf 802.15.4 basierende Übertragungstechnologie, welche von der Thread Group mit dem Ziel entwickelt wurde, im Bereich der Heimautomatisierung Vernetzungen von IoT-fähigen Geräten (wie z.B. Lichtschalter, Sensoren etc.) zu bewerkstelligen. Da Thread auf derselben Technologie basiert wie ZigBee ist Thread in der Lage, ein Meshnetzwerk aufzuspannen. Weiterhin nutzt Thread die IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) Spezifikation, weswegen Thread-Knoten in der Lage sind, über IPv6 angesprochen zu werden. Thread-Netzwerke sind in Mesh-Topologie ausgeführt, wobei ein oder mehrere Knoten als sogenannte Border Router ausgeführt werden. Border Router sind Gateways, welche den Netzwerkverkehr und die Datenpakete über weitere Netzwerke weiterleiten und von diesen Netzwerken wieder zurück ins Thread-Netzwerk leiten können. Somit sind Thread-Netzwerke mit Border Routern in der Lage, ebenfalls Daten aus dem Internet zu empfangen bzw. in dieses zu senden. Aufgrund der Topologie finden benachbarte Knoten sich gegenseitig und sind in der Lage, ohne eine spezielle Konfiguration oder Aufspannung eines Netzwerkes direkt miteinander zu kommunizieren. Ein Netzwerk kann dementsprechend einfach erweitert werden, da jeder Knoten im Netz in der Lage ist, Datenpakete weiter zu routen.

Aufgrund der IP-Adressierbarkeit können standardmäßige Übertragungsprotokolle der Transportschicht⁴ wie z.B. UDP eingesetzt werden, um Daten zu übertragen. Auf dieser Basis setzen weitere Protokolle der Applikationsschicht auf, wie z.B. das Constrained Application Protocol (CoAP). CoAP ist ein für eingebettete Systeme entwickeltes Protokoll, welches HTTP-Kommunikation, wie sie bei Webseiten im Internet vorkommt, auf diese Geräte abbildet. Thread-Knoten können somit in Kombination mit einem Border Router auf REST-basierte Ressourcen zugreifen bzw. auch Ressourcen auf REST-Basis zur Verfügung stellen.

2.9 Narrowband IoT und LTE Cat M1

Zur Unterstützung von „massive Machine Type Communication“ Szenarien (hohe Dichte an Kommunikationsteilnehmer) im zellularen Netz der vierten Generation, LTE-Advanced⁵, hat das Third Genera-

⁴ Im OSI-Modell wird die Kommunikation in 7 Schichten unterteilt. Jede dieser Schichten hat spezifische Aufgaben und es können jeweils unterschiedliche Protokolle eingesetzt werden.

⁵ LTE-Advanced, auch 4G, ist eine Erweiterung von LTE, die höhere Datenübertragungsraten und niedrigere Latenzen ermöglicht.

tion Partnership Project einen Standard für low-cost Geräte mit niedrigen Datenraten und hoher Energieeffizienz definiert, das sogenannte NarrowBand IoT (NB-IoT). NarrowBand IoT zählt zu den Low Power Wide Area Networks (LPWAN). Damit können über große Distanzen (mehrere Kilometer) Daten bei geringer Leistung übertragen werden, so dass eine hohe Energieeffizienz gewährleistet ist. Jedoch ist diese Technologie in der möglichen Datenrate stark eingeschränkt. Durch die Anforderung an Leistung und Übertragungsdistanz muss die Modulation der Symbole sehr langsam geschehen. NB-IoT hat eine maximale Datenrate von 160 Bit/s im Up- und Downlink bei einer Akkulaufzeit von 10 Jahren und einer maximalen Latenz von 10 Sekunden. NB-IoT eignet sich somit für Sensorik mit niedrigem Energieverbrauch und hohen Übertragungsintervallen. NB-IoT wurde mit dem Zweck entwickelt, stationär eingesetzt zu werden, um Sensoren oder Aktoren, wie z.B. Stromzähler oder Wasseruhren, auszulesen bzw. zu steuern. NB-IoT hat keine Roaming-Funktionalität integriert, sodass bei einem Zellenwechsel, ein erneutes registrieren an der jeweiligen Basisstation erfolgen muss, da kein „Handover“ stattfindet.

Einen weiteren Standard, der innerhalb des bestehenden LTE-Netzes betrieben wird stellt LTE Cat M1 dar. Ebenso wie NB-IoT ist er für den Einsatz im IoTSP vorgesehen. Beide Standards unterscheiden sich in der Netzkapazität (Vorteil LTE Cat M1) sowie der Netzabdeckung und den Kosten (Vorteil NB-IoT). Für beide Standards wird auf Netze der bekannten Mobilfunkanbieter wie Telekom, Vodafone oder O2 zurückgegriffen. Entsprechende Produkte sind direkt bei den Telekommunikationsunternehmen oder bei Drittanbietern, die beispielsweise ein zusätzliches Roaming zwischen unterschiedlichen Netzen ermöglichen, zu erwerben.

3 Anwendungsszenarien zur Nutzung drahtloser Übertragungstechnologien

Im Rahmen des Clusters Wald und Holz wurden unterschiedliche Anwendungsszenarien identifiziert, welche die Nutzung von Funktechnologien unabdingbar machen, beispielhaft sind vier dieser Szenarien in Abbildung 20 dargestellt. Je nach Szenario unterscheiden sich die Anforderungen in Datenrate / Durchsatz, Stromverbrauch, Netzwerktopologie, Einsatzdauer und Zuverlässigkeit.

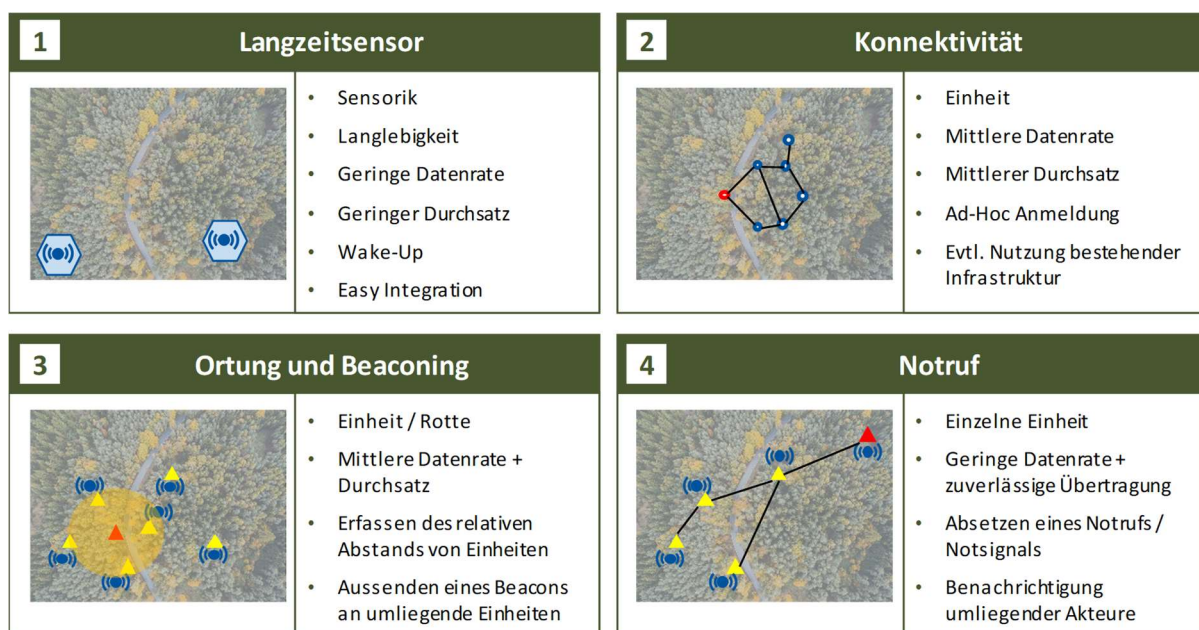


Abbildung 20 Übersicht der Anwendungsszenarien unter Nutzung von drahtlosen Übertragungstechnologien

Das erste Szenario beschreibt **Langzeitsensoren**, die in der Forst- und Landwirtschaft eingesetzt werden. Unterschiedliche kommerzielle Produkte, beispielsweise der Firma Evvos⁶, können im Forstbereich installiert werden, um dort dauerhaft z.B. Temperatur, Luft- und Bodenfeuchtigkeit aufzunehmen. Änderungen der Messwerte verlaufen dabei typischerweise langsam, so dass nur eine geringe Datenrate und ein geringer Datendurchsatz notwendig sind. Die Kommunikationseinheiten müssen nicht dauerhaft aktiv sein, da die Datenübertragung in regelmäßigen Abständen erfolgen kann. Eine lange Lebensdauer (inkl. Akkulaufzeit) und Wartungsfreiheit sind hingegen notwendig, um die Sensorensysteme handhabbar zu machen. Um die Daten abrufbar zu machen muss eine Verbindung zum Internet hergestellt werden können.

Das zweite Anwendungsszenario beinhaltet die Schaffung von **Konnektivität** innerhalb eines Waldstücks bzw. über eine Waldstückgrenze hinaus. Hier muss ein Netzwerk aufgebaut werden, welches Möglichkeiten zur dynamischen Anmeldung neuer Teilnehmer erlaubt und eine Kommunikation unter den Teilnehmer ermöglicht. Das Netzwerk selber ist temporär verfügbar, kann aber je nach Bedarf auch längerfristig bestehen bleiben. Eine Konnektivität zum Internet ist nicht zwingend notwendig. Ziel dieser Netzwerke ist es, Informationen unter den Teilnehmern austauschen zu können.

Das dritte Anwendungsszenario beschreibt den Aufbau eines zeitlich begrenzten als auch mobilen Netzwerks, welches **Zur Ortung und zum Beaconsing** dient, um in der Umgebung befindliche Teilnehmer mit Warnungen bzw. Standortinformationen zu versehen. Bei diesem Szenario ist eine Identifizierung über verbindungslose Datenübertragungen gefordert (sog. Beaconsing) welches im besten Fall auch eine grobe Ortung von Akteuren im unmittelbaren Umfeld ermöglicht. Die Bestandsdauer des Netzwerks ist gleich der Arbeitsdauer der in Aktion befindlichen Akteure. Der Anwendungsfall Ortung und Beaconsing stellt eine Erweiterung des Anwendungsfalls Konnektivität dar, indem nun nicht nur Informationen übertragen werden können, sondern das Netzwerk selbst auch Informationen, wie beispielsweise Relativpositionen, generiert.

Das vierte Szenario zielt auf den Aufbau eines zuverlässigen Netzwerkes mit niedrigen Datenübertragung und niedriger Paketfehlerrate ab, um Informationen zur Initiierung eines **Notrufes** über die Waldstückgrenze hinaus zu ermöglichen. Da die Information zu unregelmäßigen Zeitpunkten abgeschickt wird, müssen Mechanismen zur Überprüfung der Übertragungstrecke (z.B. Heartbeat) und der Signalqualität genutzt werden, um die Übertragung zu garantieren. Um eine geeignete Rettungsleitstelle oder eine ggf. zwischengeschaltete Notrufzentrale zu erreichen ist für dieses Szenario eine Anbindung an das Internet notwendig.

3.1 Exemplarische Realisierung im Kontext eines Notrufes

Bei forstwirtschaftlichen Arbeiten kommt es nicht selten zu Gefahrensituationen mit lebensgefährlichen Unfallfolgen. Bei Eintreten einer Gefahrensituation besteht aufgrund der geringen Netzabdeckung innerhalb von Waldgebieten ein erhöhtes Sterberisiko vor Ort, da ein direktes Absetzen eines Notrufes nur in den Randgebieten des jeweiligen Waldbezirkes möglich ist. Im Folgenden wird deshalb im Kontext eines Notrufes ein Konzept und eine exemplarische Realisierung zum Absetzen eines Signals in Waldgebieten mit geringer bzw. nicht vorhandener Mobilfunkabdeckung vorgestellt. Voraussetzungen kann das vorgestellte Konzept auch die anderen Anwendungsszenarien teilweise bedienen, umfangreiche Testimplementierungen und anschließende Versuche stehen zum aktuellen Zeitpunkt aber noch aus und werden in der nächsten Version dieses Standpunktes vorgestellt.

Da es sich bei dem Signal um eine Information mit geringer Payloadgröße handelt, sind keine erweiterten Modulationstechniken oder hohen Datenraten erforderlich. Ebenso sind echtzeitkritische Latenzen nicht erforderlich, solange das Signal innerhalb von Sekunden an eine geeignete Empfangsstelle

⁶ <https://www.evvos.com/>

übertragen wird. Weiterhin ist es notwendig die Übertragungsstrecke geeignet zu überwachen und das Signal über eine weite Entfernung (im Bereich mehrerer Kilometer) zu übertragen. Abschließend ist es sinnvoll dem Benutzer die Möglichkeit zu geben mittels gekoppeltem Smartphone ein Signal absetzen zu können.

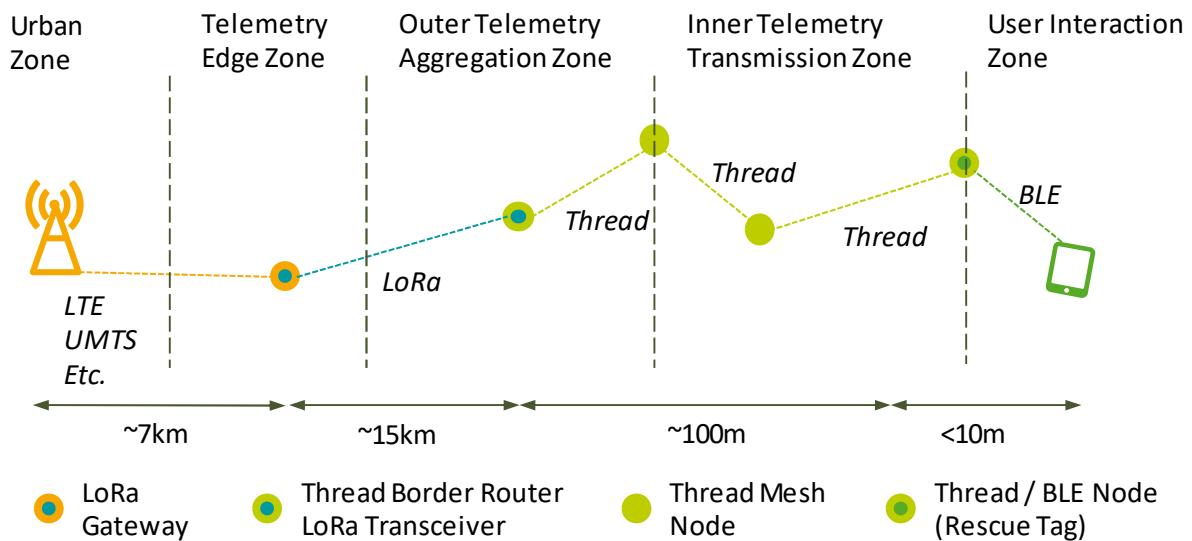


Abbildung 21 Konzept der Übertragungsstrecke

In Abbildung 21 ist ein Überblick des Konzepts zur Realisierung der Übertragungsstrecke dargestellt. Die Strecke wird insgesamt in fünf Abschnitte unterteilt, die jeweils unterschiedliche Entfernungen überbrücken und verschiedene Funktionalitäten abdecken. In der User Interaction Zone (UIZ) wird dem Benutzer mittels Smartphone ein Zugang zum Netz ermöglicht. Mit Hilfe eines sogenannten Rescue Tags, welches mit dem Smartphone gekoppelt wird, erlangt der Nutzer Zugang zum Netz. Das Rescue Tag ist ein mittels 3,3 V Knopfzelle ausgestatteter Tag, welcher sowohl Bluetooth 5.0 als auch Thread parallel betreiben kann. Mit Hilfe einer auf dem Smartphone befindlichen Applikation kann der Nutzer Signale absetzen bzw. die App wäre in der Lage mittels interner oder externer Vitalsensoren des Smartphones Aktionen zu triggern. Da es sich um ein Personal Area Network handelt ist die Reichweite zwischen Smartphone und Rescue Tag mit unter 10 m definiert. Die Inner Telemetry Transmission Zone (ITTZ) dient dem Aufbau eines Mesh-Netzwerkes, welches ebenfalls durch geeignete Tags beliebig erweitert werden kann. Die ITTZ soll mittels weiterer Tags die Reichweite des Signals künstlich erweitern und so Abstände von einigen hundert Metern zum nächsten Zugangspunkt zu ermöglichen. Die einfachste Variante ist dabei die Integration in Forstmaschinen, die ohnehin mit dem Forstarbeiter den Einsatzort wechseln. Sollten die Abstände innerhalb der Rotte zu groß werden ist auch die temporäre Platzierung weiterer mobiler Repeater, beispielsweise auf einem Stock, der in den Boden gesteckt werden kann oder als Device, welches um einen Baum angegurtet werden kann möglich. In der Outer Telemetry Aggregation Zone werden Informationen zwischen Thread-Netzwerk und einem Weitverkehrsnetz mittels LoRa ausgetauscht. Kernelement der OTAZ bildet der Thread Border Router mit LoRa Transceiver. Dieser sollte sich auf einer mobilen Arbeitsmaschine befinden, so dass er immer am aktuellen Einsatzort verfügbar ist. Da dieser Zugangspunkt die Brücke zwischen innerem und äußerem Waldgebiet bildet und somit erweiterte Routing Funktionalitäten besitzen muss, benötigt dieser Knoten entsprechende Energieressourcen. Die Telemetry Edge Zone (TEZ) bildet den Zugangspunkt zum öffentlichen Internet. Die angedachte Distanz zwischen OTAZ und TEZ soll mehrere Kilometer und somit die Entfernung aus einem inneren Waldstück bis zu einer Randzone des Waldgebietes überbrücken. Das Kernelement der TEZ bildet ein LoRa-Gateway, welches je nach Bedarf über ein Mobilfunknetz oder einem anderweitigen Zugangspunkt (über Ethernet etc.) Internetkonnektivität bereitstellt. Ein solches LoRa-Gateway ist dabei am Rande des bereits verfügbaren Mobilfunknetzes als temporäres

oder dauerhaftes Device (letzteres, falls auch dauerhaft Sensorik im entsprechenden Waldabschnitt eingesetzt wird) z.B. an einen Baum anzugurten oder separat aufzustellen. Für größere Entfernungen kann die OTAZ um LoRa-Repeater ergänzt werden, um so auch in großen Waldgebieten eine Konnektivität sicherzustellen.

Zur Überwachung der Signalqualität und der allgemeinen Funktionalität der Signalstrecke in der OTAZ, ITTZ und UIZ werden Heartbeat-Pakete zwischen Nutzergerät und Thread Border Router in beide Richtungen ausgetauscht, damit sowohl Nutzer als auch Border Router im Falle eines Signalabbruchs entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten können. Wird die Signalstrecke beispielsweise unterbrochen, wird dem Nutzer eine entsprechende Warnung ausgegeben während der Border Router mittels LoRa ebenfalls eine Connectivity Lost Warnung weitergibt. Ist das Signal über einen längeren Zeitraum unterbrochen, kann je nachdem ein weiteres Signal ausgegeben werden oder es können entsprechende Hilfsmaßnahmen durch weitere Personen eingeleitet werden. Tritt eine Gefahrensituation mit Unfallfolgen auf, setzt der Nutzer ein Signal mittels Smartphone-App ab, welches dann über die geschilderte Übertragungsstrecke an einen geeigneten Notrufpunkt weitergeleitet wird. Über dieselbe Übertragungsstrecke kann die Gegenstelle ebenfalls mittels Downlink Informationen über verbleibende Dauer des Eintreffens o.Ä. zukommen lassen und so indirekt mit dem Nutzer und umliegenden Akteuren in Kontakt treten.