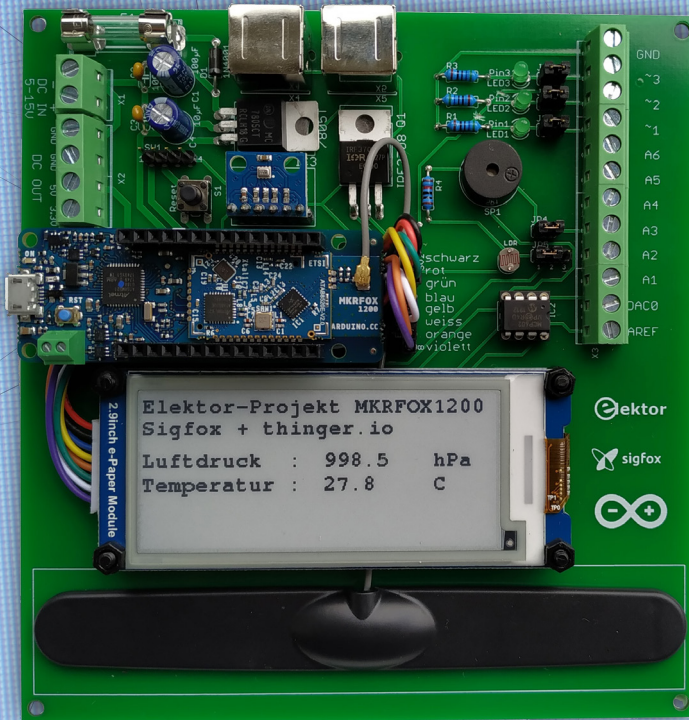


Das Sigfox-Praxisbuch

Step by Step ins Internet of Things



Bernd vom Berg
Frank Schlecking

Das Sigfox-Praxisbuch

Step by Step ins Internet of Things



Bernd vom Berg
Frank Schleking

● © 2020: Elektor Verlag GmbH, Aachen.

● Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

● Erklärung

Der Autor und der Herausgeber dieses Buches haben alle Anstrengungen unternommen, um die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Informationen sicherzustellen. Sie übernehmen keine Haftung für Verluste oder Schäden, die durch Fehler oder Auslassungen in diesem Buch verursacht werden, unabhängig davon, ob diese Fehler oder Auslassungen auf Fahrlässigkeit, Unfall oder andere Ursachen zurückzuführen sind.

● Satz und Aufmachung: Jack Jamar Graphic Design | Maastricht (NL)

Druck: Ipskamp Printing, Enschede (NL)

● **ISBN 978-3-89576-407-3** Print

ISBN 978-3-89576-408-0 Ebook

ISBN 978-3-89576-409-7 Epub

● Elektor-Verlag GmbH, Aachen

www.elektor.de

Elektor ist Teil der Unternehmensgruppe Elektor International Media (EIM), der weltweit wichtigsten Quelle für technische Informationen und Elektronik-Produkte für Ingenieure und Elektronik-Entwickler und für Firmen, die diese Fachleute beschäftigen. Das internationale Team von Elektor entwickelt Tag für Tag hochwertige Inhalte für Entwickler und DIY-Elektroniker, die über verschiedene Medien (Magazine, Videos, digitale Medien sowie Social Media) in zahlreichen Sprachen verbreitet werden. **www.elektor.de**

*Die wirkliche Frage ist nicht, ob Maschinen denken können,
sondern ob Menschen es tun.*

B. F. Skinner

Einer der bedeutendsten Psychologen des 20. Jahrhunderts

Inhalt

- Kapitel 1 • Vorwort 9**
- Kapitel 2 • Industrie 4.0 12**
- Kapitel 3 • Das Internet of Things (IoT) 14**
- Kapitel 4 • Die funkbasierten 0G-Netzwerke 18**
- Kapitel 5 • Das Sigfox-Netzwerk – Ein Überblick 21**
 - 5.1 Die Sigfox-Übertragungstechnik 25
 - 5.1.1 Uplink – Technik 27
 - 5.1.2 Uplink – Telegrammaufbau 32
 - 5.1.3 Downlink – Technik 35
 - 5.1.4 Downlink – Telegrammaufbau 36
 - 5.1.5 Die Datensicherheit 37
 - 5.2 Das Sigfox-Monarch-Konzept 40
 - 5.3 Die Geolokalisierung (Standortbestimmung) 46
 - 5.4 Die Sigfox-Geolokalisierung 49
 - 5.4.1 Sigfox und GPS 51
 - 5.4.2 Das Sigfox-Atlas-Konzept 53
 - 5.4.2.1 Atlas Native 54
 - 5.4.2.2 Atlas WiFi 57
 - 5.4.2.3 Atlas Bubbles 61
 - 5.5 Fazit: Die Universelle Sigfox-Test-, Mess- und Simulationsplattform 65
- Kapitel 6 • Das Sigfox-Backend, die Callbacks und die REST-API 67**
 - 6.1 Die Callbacks 77
 - 6.2 Die REST-API-Schnittstelle 78
- Kapitel 7 • Die universelle Sigfox-Test-, Mess- und Simulations-Plattform 83**
 - 7.1 Das Arduino Maker-Board MKR FOX1200 84
 - 7.2 Das Motherboard 91
 - 7.2.1 Die Spannungsstabilisierungsstufe 96
 - 7.2.2 Der lichtempfindliche Widerstand (LDR) 97
 - 7.2.3 Die akustische Ausgabe (Summer) 99
 - 7.2.4 Die digitalen I/O-Port-Pins 101
 - 7.2.5 Der Impedanzwandler 102
 - 7.2.6 Der Luftdrucksensor Bosch BMP280 103
 - 7.2.7 Die Displayeinheiten 105
 - 7.2.7.1 Das ePaper-Display 106
 - 7.2.7.2 Das Nextion-HMI-Display 108
 - 7.2.8 Die seriellen Schnittstellen 111
 - 7.3 Die Stromversorgung 113
 - 7.3.1 Der Solargenerator 113
 - 7.4 Das Gehäuse 117

Kapitel 8 • Die Grundsoftware	132
8.1 Die Installation der Arduino-IDE	132
8.2 Die Installation der benötigten Bibliotheken	138
8.2.1 Die Arduino-Bibliotheken	139
8.2.2 Die externen Bibliotheken	145
8.3 Betrieb der Komponenten des Motherboards	148
8.3.1 Blinken der LED an Port-Pin 6	148
8.3.2 Die Abfrage des lichtempfindlichen Widerstands (LDR)	150
8.3.3 Die Ansteuerung des Summers	151
8.3.4 Der Betrieb der digitalen I/O-Port-Pins	153
8.3.5 Der Betrieb der analogen I/O-Port-Pins	156
8.3.6 Der Einsatz der Real Time Clock (RTC) des SAMD21	166
8.3.7 Der Betrieb des I2C-Busses	172
8.3.8 Der Betrieb des Luftdrucksensors BMP280	180
8.3.9 Der SPI-Bus	185
8.3.10 Die Ansteuerung des ePaper-Displays	188
8.3.11 Die Sleep-Modi	202
Kapitel 9 • Die Arduino-Sigfox-Bibliothek und der Sigfox-Betrieb	204
9.1 Die Sigfox-Funktionen	205
9.2 Die Anmeldung bei der Sigfox-Cloud	210
9.3 Das Aussenden von ´Hello World!´	223
9.4 Das Aussenden von festen Zahlenwerten	231
9.5 Das Aussenden von realen Messwerten	241
Kapitel 10 • Die Callbacks - Der Datentransfer von der Sigfox-Cloud zum Anwender	248
10.1 Die Sigfox-Callbacks	249
10.2 Der E-Mail - Callback	250
10.3 Der Daten - Callback (Callback_0)	273
10.4. Die GeoLoc - Callbacks	283
10.4.1 Sigfox-Atlas-Koordinaten (Callback_1)	283
10.4.2 GPS-Koordinaten (Callback_2)	288
10.5 Tracking - ´Kühltransporter 47´ (Callback_3)	292
10.6 Der einfache Downlink aus der Sigfox-Cloud	294
Kapitel 11 • Die Gestaltung der Dashboards	304
11.1 Die Dashboard-Plattform thinger.io	305
11.2 Die ersten Schritte in thinger.io	308
11.3 Die Parametrierung des Sigfox-Callbacks	317
11.4 Das Dashboard zum Daten-Callback (Callback_0)	323
11.5 Das Dashboard zum Sigfox-Atlas-Callback (Callback_1)	339
11.6 Das Dashboard zum GPS-Callback (Callback_2)	344
11.7 Das Dashboard zum ´Kühltransporter-Tracking´ (Callback_3)	346
11.8 Weitere Dashboard-Widgets in thinger.io	350

Kapitel 12 • Externe Hardware-Erweiterungen für die Universelle Sigfox-Plattform . .	365
12.1 Der Betrieb des Nextion-HMI-Displays	365
12.2 Die I2C-Porterweiterung PCF8574(A)	398
12.3 Der DS18B20 Temperatur-Sensor	408
12.4 Das Grove-I2C-Thermoelementverstärker-Breakout (MCP9600)	417
12.5 Das Grove-Multichannel Gassensor-Breakout	427
12.6 Der Sensirion SPS30-Feinstaubsensor	434
12.7 Das BlueDot BME280+TLS2591 - Advanced Weather Station-Breakout	441
12.8 Das SparkFun GPS-Breakout XA1110	448
12.9 Das zweifach Relais-Modul mit Optokoppler	457
Kapitel 13 • Kommerzielle Sigfox-Module	462
Links und Literatur	470
Index	473

1 • Einleitung

Internet of Things (IoT), Industrie 4.0, Smart Home, Smart Cities, Smart Health, Smart Environment, Green IoT, Edge Computing, digitaler Zwilling, OG-Netzwerke, ... -

hochaktuelle Begriffe, die mittlerweile tagtäglich in allen Medien auftauchen und unser Leben mehr oder weniger offen oder auch unbemerkt beeinflussen.

Letztendlich geht es bei all diesen Konzepten und Entwicklungen darum, Technik in einem bisher nie gekannten Maße für den Menschen, die Umwelt, die Industrie und den Handel im höchsten Maße positiv nutzbar zu machen.

All diesen neuen Ansätzen und Lösungen ist jedoch gemeinsam, dass sie sich auf eine unverzichtbare universelle Basis abstützen: im allerersten Schritt müssen zunächst ´irgendwo´ ´irgendwelche´ Daten erfasst und möglichst einfach und effektiv ´irgendwie´ nach ´irgendwo hin´ übertragen werden.

Das beginnt im privaten **Smart Home** mit der Erfassung von Verbrauchsdaten (Gas, Wasser, Strom) durch intelligente Zähler, und geht über Alarmanlagen (Einbruch, Feuer, Wasserohrbruch), verbrauchsoptimierte Heizungs- und Klimasteuerungen bis hin zu den ´intelligenten´ Haushaltsgeräten, bei denen der Kühlschrank automatisch und rechtzeitig den Lieblingsjoghurt nachbestellt.

Diese extrem gestiegenen Anforderungen an die Datenerfassung setzen sich dann fort bis in den **industriellen Bereich**, indem intelligente Maschinen untereinander kommunizieren und selbstständig Fertigungsprozesse koordinieren.

Die Rolle des menschlichen Bedieners ändert sich immer mehr und mehr hin zur Rolle des kritischen Beobachters und Lenkers.

Als Grundlage für optimale Entscheidungen ist auch hier eine zuverlässig erfasste und aufbereitete Datenbasis der Prozesse unabdingbar.

Weltweite Warenströme müssen ´Just in Time´ organisiert und überwacht werden. Die Länder-übergreifende Erfassung von aktuellen Zustands- und Standortdaten von LKWs, Schiffen und Containern wird immer wichtiger.

Ein weiterer großer Bereich, der ohne eine umfassende und extrem sichere Datenbasis gar nicht auskommt, ist das **autonome Fahren**. Hier stehen Menschenleben unmittelbar auf dem Spiel, wenn (Mess)Daten nicht hochpräzise und extrem zuverlässig erfasst, weitergeleitet und verarbeitet werden.

Klima- und Umweltschutz nehmen eine immer wichtigere und unverzichtbare Rolle im weltweiten (Über)Leben ein.

Eine Erfassung und Bewertung der aktuellen Umweltsituationen und ein darauf aufbauendes zielgerichtetes Eingreifen und Handeln ist ohne eine kontinuierliche Erfassung und Übertragung kritischer Umweltmessdaten gar nicht mehr möglich.

All diese Beispiele haben eines gemeinsam: auf der untersten Ebene, direkt im 'Feld' vor Ort und Stelle, müssen Daten der unterschiedlichsten Art erfasst und weitergeleitet werden.

Für diese Aufgaben im Feldbereich wurden und werden die hocheffizienten, so genannten '**0G-Netzwerke**', entwickelt.

In Zeiten der 5G (5. Generation)-Netze, nun ein Rückschritt in die 0te Generation? Das ist jedoch bei Weitem nicht der Fall.

0G bedeutet in diesem Kontext, dass solche modernen drahtlosen Datenübertragungsnetze optimiert sind für die energieeffiziente Übertragung von kleinen Datenmengen. In 0G-Netzen werden also keine Bilder, Audio-Files oder ganze Video-Dateien übertragen sondern Mess-, Zustands-, Alarm- und/oder geographische Standortdaten aus dem unmittelbaren Feldbereich hin zu einer zentralen Auswertung und Verarbeitung transportiert. Und in die andere Richtung werden Ansteuerinformationen für beliebige Aktoren oder zur Umschaltung von Stationsfunktionen in das Feld übermittelt.

Die Nutzdatenfelder solcher 0G-Telegramme sind daher dementsprechend klein und die Datenübertragungsrate muss notwendiger Weise nicht besonders hoch sein, da kein großer Telegrammoverhead mit transportiert werden muss.

Die besonderen Eigenschaften der 0G-Feldstationen sind ein extrem langer Betrieb mit einer einzigen Batterieladung über Monate und Jahre hinweg, eine große überbrückbare Reichweite im Freifeldbereich bis zu einigen 10km und selbst im bebauten Umfeld sind Stecken im unteren km-Bereich abdeckbar.

Hinzu kommen äußerst geringe Anschaffungs- und Betriebskosten und sehr oft ist eine Länder- oder gar Kontinent-übergreifende Datenkommunikation ohne besondere SIM-Karten oder Roaming-Gebühren möglich.

Ein einfacher Aufbau von 0G-Netzen mit hunderten oder gar tausenden Feldstationen, bei denen der Anwender einen einfachen, weltweiten Zugriff auf die übermittelten Nutzdaten hat, runden das Leistungsspektrum solcher Datenübertragungsstrukturen ab.

Die zur Zeit bekanntesten Vertreter dieser funkbasierten 0G-Netze, die auch unter dem Oberbegriff **LPWAN** (Low Power Wide Area Network, Niedrigenergieweitverkehrsnetzwerk) zusammengefasst werden, sind Sigfox, LoRa/LoRaWAN, NB-IoT und MIOTY.

In dem vorliegenden Buch wird nun das weltweit sehr verbreitete 0G-Netzwerk **Sigfox** zunächst detailliert vorgestellt.

Danach wird auf der Basis eines leistungsfähigen Sigfox-Arduino-Boards eine **Universelle Sigfox-Test-, Mess- und Simulations-Plattform** hardwaremäßig entwickelt und softwaremäßig betrieben.

Diese Sigfox-Feldstation stellt dem Anwender eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. Sensoren für verschiedenste physikalische Größen werden über den I2C-Bus angeschlossen und Aktoren können über Relaisbaugruppen angesteuert werden.

Zur lokalen Vor-Ort-Bedienung und zur Anzeige von Mess- und Statuswerten kommen ein graphisches ePaper-Display oder ein farbiges Graphikdisplay mit Touch-Eigenschaften zum Einsatz.

Vervollständigt wird der Funktionsumfang durch ein eingebautes GPS-Modul zur weltweiten Ortsbestimmung.

Diese Feldstation kann lokal durch ein einfaches Steckernetzteil gespeist werden. Alternativ ist aber auch ein völlig autarker 365d/24h-Betrieb in der 'freien Natur' mittels passendem Solargenerator mit Akku-Pufferung möglich.

Mehrere dieser Stationen können dann z.B. als kompakte und leistungsfähige Umweltmessstationen für ein flächendeckendes **Umweltmonitoring** im Rahmen von **Green IoT** eingesetzt werden.

Alle Schaltungsteile (incl. den 3D-Plott-Vorlagen für ein passendes Stationsgehäuse) und sämtlichen Softwaremodule werden offen gelegt, so dass der Leser damit weitere **eigene Sigfox-Feldstationen** nach seinen eigenen Vorstellungen und Bedürfnissen entwickeln und problemlos einsetzen kann.

Die Visualisierung, Auswertung und Speicherung der erfassten Felddaten wird anhand eines Freeware-**Dashboard-Programms** ausführlich beschrieben, das zusätzlich eine Schnittstelle zu **Google-Maps** zur Verfügung stellt. Somit können die erfassten Standortdaten der (mobilen) Sigfox-Feldstation sofort aufbereitet und auf einer Karte dargestellt werden.

Insgesamt entsteht am Ende ein kleines, rundherum komplettes, und jeder Zeit beliebig ausbaufähiges, Messsystem, oder ganz allgemein ein umfassendes ausbaufähiges **Basis-OG-Netz**.

Abgerundet werden die Ausführungen durch einen Blick auf kommerziell erhältliche, leistungsfähige Sigfox-Feldstationen für den Indoor- und den Outdoor-Betrieb.

Bernd vom Berg
Frank Schlekking

Kettwig, Bochum im September 2020

2 • Industrie 4.0

Zum Einstieg in die Thematik zeigt die **Abb.2.1** einmal die bisher allgemein anerkannten drei Stufen der industriellen Entwicklung (Industrie 1.0 bis Industrie 3.0), angefangen von der Dampfmaschine bis hin zum Computer:

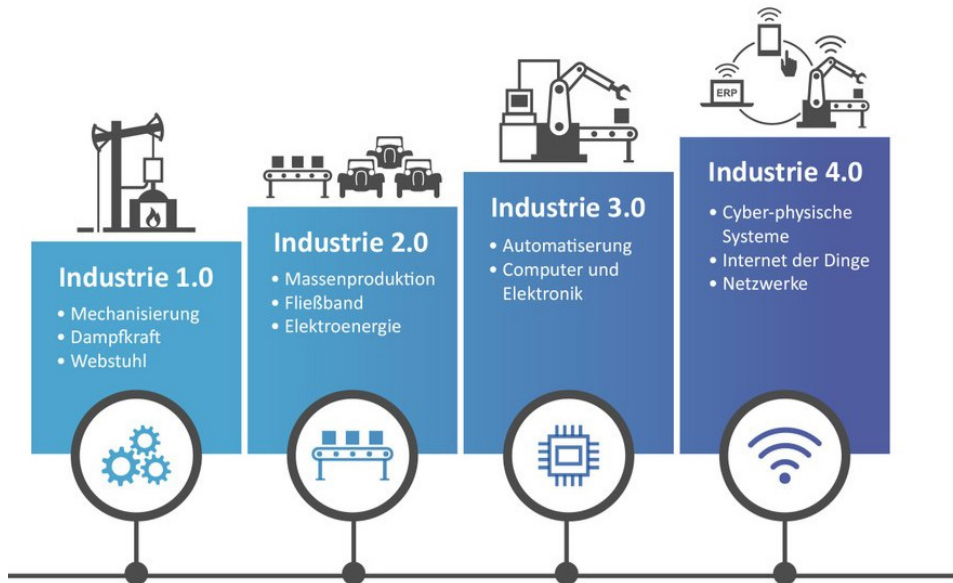


Abb.2.1: Die Stufen der industriellen Entwicklung
(in Anlehnung an [39, (3)])

Seit neuestem ist die vierte Stufe – die Industrie 4.0 – hinzugekommen.

Industrie 4.0 – ein universeller Oberbegriff, der relativ einfach zu definieren ist:

„Unter Industrie 4.0 fällt alles, was irgendwie mit industrieller Technik zu tun hat. Und diese Technik ist dann auch noch untereinander vernetzt, so dass alle Komponenten beliebige Informationen austauschen können.

Die anderen neuartigen, nicht-industriellen Technikbereiche, werden dabei mit dem Vornamen ‘Smart’ gekennzeichnet: Smart Home, Smart City, Smart Environment, Smart Health, Smart ...“

Bei näherem Hinsehen ist diese Definition jedoch viel zu allgemein und wenig aussagekräftig.

Versucht man daher den Begriff Industrie 4.0 etwas konkreter zu fassen, so lassen sich folgende grundlegende Charakteristika dazu herausarbeiten:

- Technische System werden untereinander vernetzt und können somit eine übergreifende, flächendeckende Kommunikation in Echtzeit aufbauen.
- Die gesamte industrielle Wertschöpfungskette – Kunde, Rohstoffe, Produktion, Produkt , etc. – ist informationstechnisch miteinander verknüpft.
- In der Produktion kommunizieren die Maschinen intelligent untereinander.
- Der ‘Mensch’ ändert seine Rolle vom ‘Bediener’ hin in zum ‘Beobachter und Lenker’, der alles jederzeit im Griff hat.

Diese Aufzählung lässt sich allerdings jeder Zeit beliebig erweitern.

Der offizielle Startschuss für den Beginn von Industrie 4.0 in Deutschland erfolgte im April 2013, als der **Arbeitskreis Industrie 4.0** seinen Abschlussbericht:

**„Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern
Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“**

der Bundesregierung vorlegte, [38, 39(4)].

Gute, grundlegende Erläuterungen von Industrie 4.0 findet sich dort und z.B. unter [39], so dass wir in diesem Buch auf dieses Thema nicht weiter eingehen werden.

Aber egal wie man jetzt letztendlich Industrie 4.0 definiert und was Industrie 4.0 jetzt eigentlich konkret ist, Industrie 4.0 basiert in allen Bereichen auf der untersten Ebene immer unumstößlich auf Kommunikation, auf der Datenerfassung und der Datenübertragung auf der Feldebene: direkt an der Maschine, direkt aus dem Produktionsprozess heraus, direkt aus dem Transportcontainer, direkt aus dem Lager, direkt vom Prüfstand, direkt aus dem QM-Labor, direkt aus Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen, direkt aus

Ein optimal gestaltetes Kommunikationsrückgrat ist daher unverzichtbar für alle Aspekte der Industrie 4.0.

Und an dieser Stelle kommt jetzt das **Internet of Things (IoT)** ins Spiel, wenn es darum geht, Komponenten einfach, effektiv (und weltweit) untereinander kommunikativ zu vernetzen

3 • Das Internet of Things (IoT)

Das 'Internet der Dinge, Internet of Things, IoT' - ebenfalls ein hochaktuelles Schlagwort aus dem Bereich der neuesten Techniken.

Aber auch hier stellt sich als erstes die Frage: wie beschreibt man eigentlich die **Funktionen von IoT?**

Fragen wir also einmal jemanden, der heut zu Tage 'alles' weiß, unser Google, **Abb.3.1:**

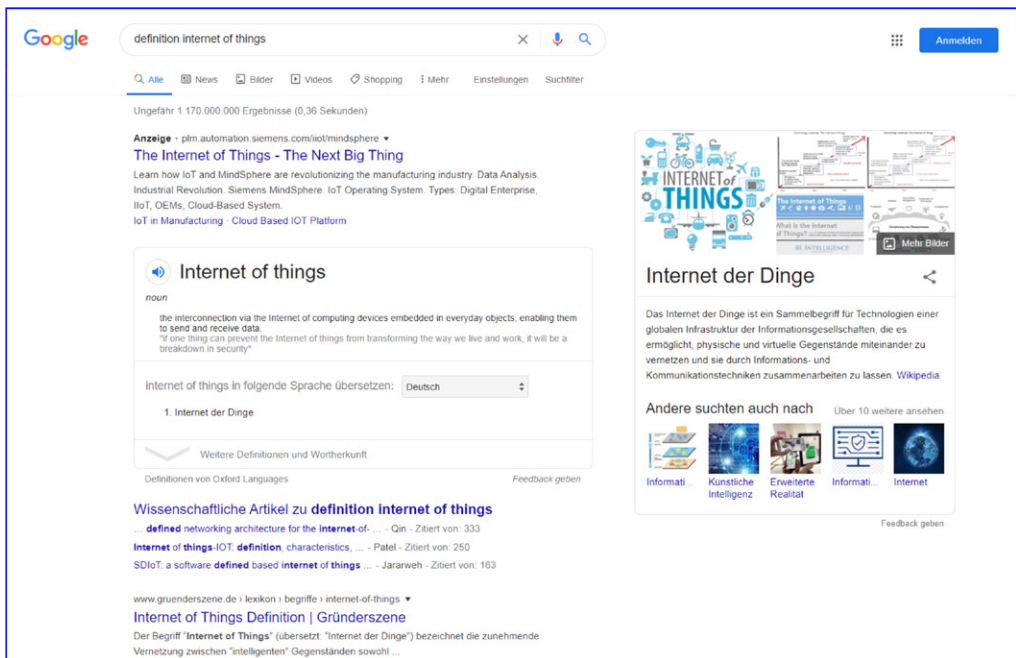


Abb.3.1: Definition des Internet der Dinge (Stand 07.2020)


Nach 0,36 Sekunden erhält man auf die Frage nach der Definition des 'Internet of Things' ca. 1,17 Millionen Antworten.

Man ahnt hier schon, dass das IoT nicht fest umrissen definiert werden kann, sondern dass das IoT ein ganzes Spektrum von Internet-basierten Kommunikationslösungen für die unterschiedlichsten Bereiche umfasst.

Wirft man einen tiefergehenden Blick in die Geschichte des IoT, so stellt man erstaunt fest, dass sich die deutsche Bundesregierung bereits 2007 mit diesem Begriff beschäftigt und eine grundlegende Definition erschaffen hat, die heute noch hochaktuell ist, **Abb.3.2**:

Das Internet of Things (IoT) ???

OK, fragen wir also unsere Regierung:

Wissenschaftliche Dienste

Deutscher Bundestag

Aktueller Begriff
 Internet der Dinge

Gemäß einer ... im Jahr 2007 entwickelten Definition, ist das Internet der Dinge

„... die technische Vision, Objekte jeder Art in ein universales digitales Netz zu integrieren.

... werden zukünftig auch zahlreiche Alltagsgegenstände wie z.B. Autos, Konsumgüter, Stromzähler, Objekte im Gesundheitswesen oder sogar Kleidungsstücke über das Netz angesteuert werden und selbständig miteinander kommunizieren können.“

Abb.3.2: Eine der Ur-Definitionen des IoT, [40]

Und weiter liest man in diesem Status-Papier, [40]:

„Dies wird möglich über kleinste, miteinander über Funk kommunizierende Mikroprozessoren, die - häufig unsichtbar - in diese Gegenstände eingebaut sind. Mittels integrierter Sensoren werden die kleinen Computer in der Lage sein, ihre unmittelbare Umgebung wahrzunehmen, die gewonnenen Informationen zu verarbeiten, mit anderen Objekten oder Netzwerken zu kommunizieren und auch selbst Aktionen auszulösen. Auf diese Weise können die Dinge „wissen“, wo sie sich befinden, welche anderen Gegenstände in der Nähe sind oder was mit ihnen in der Vergangenheit geschah. Alltägliche Gegenstände werden so zu „intelligenten Objekten“.

Im Unterschied zu heutigen IT-Systemen zeichnet sich das Internet der Dinge durch drei neue Qualitäten aus: Durch die Integration in Alltagsgegenstände wird die IT-Technik allgegenwärtig (ubiquitär). Sie verschwindet gleichzeitig teilweise aus der visuellen Wahrnehmung, wird mithin unsichtbar. Drittens handeln die Objekte häufig ohne direkten Eingriff des Benutzers, also autonom.“

Damit wurde bereits damals alles gesagt, was heute das IoT ausmacht.

Hinzugekommen ist lediglich noch eine weitere wesentliche Kerneigenschaft – denn **das IoT ist heute ´Smart´** geworden, **Abb.3.3**

IoT ist „Smart“

„Smart“ – der Duden klärt auf:

Synonyme zu smart
i alert, ausgefuchst, **clever**, einfallsreich, findig, gewandt, gewitzt, **klug**, listig, pffiffig, raffiniert, **schlau**, [taktisch] geschickt, trickreich, wendig; (österreichisch) gefinkelt; (gehoben) fintenreich; (umgangssprachlich) auf Draht, **auf Zack**, gerissen, gewieft, mit allen Wassern gewaschen, nicht auf den Kopf gefallen, schlitzohrig; (österreichisch umgangssprachlich) gehaut; (abwertend) durchtrieben, geschäftstüchtig; (umgangssprachlich abwertend) ausgekocht; (salopp, häufig abwertend) ausgebufft; (landschaftlich, besonders berlinisch) **helle**

Abb.3.3: Das IoT wird Smart

Und somit ergeben sich letztendlich unzählige Anwendungsfälle, die so genannten 'Use Cases', für das Smarte IoT, **Abb.3.4**:

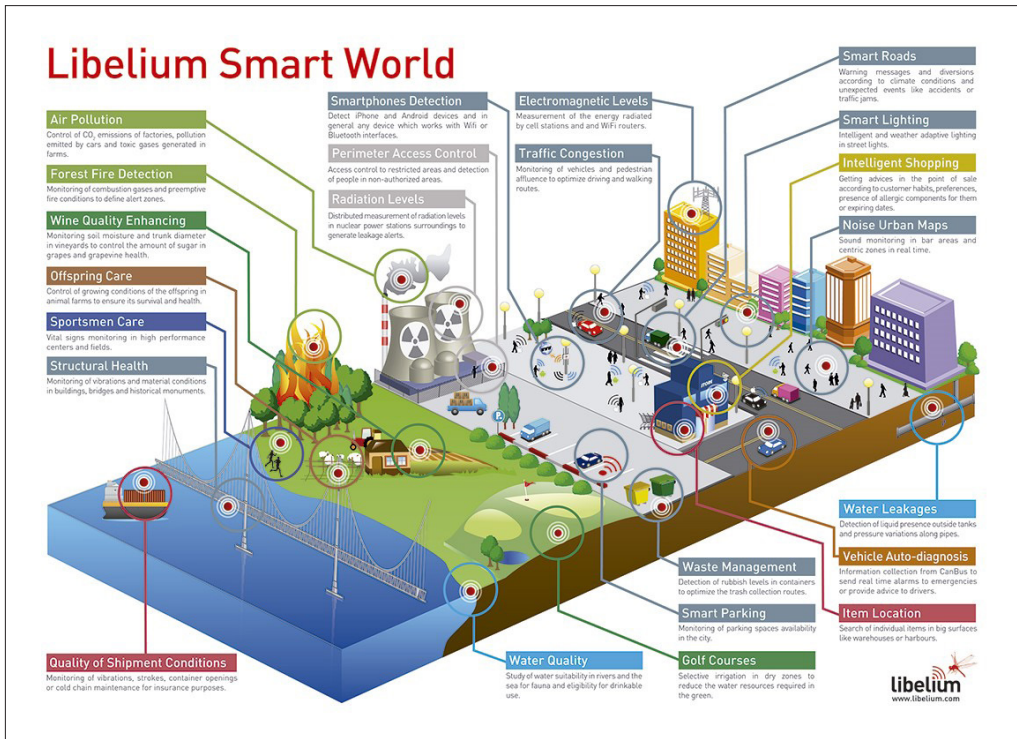


Abb.3.4: Ein kleiner Ausschnitt aus der Welt des Smarten IoT
 (© <https://www.libelium.com/wp-content/uploads/2017/01/smart-world.jpg>)

Zusammengefasst bildet das Smarte IoT durchaus ein leistungsfähiges und universelles Kommunikationskonzept für die Feldebene und es ist somit bestens geeignet, die Kommunikationsanforderungen der Industrie 4.0 und der restlichen Smarten Welt zu erfüllen.

Jedoch: IoT ist zunächst ein theoretischer Entwurf, ein globaler Leitfaden auf dem Papier, wie moderne Kommunikation über das Internet aussehen kann.

Die sich jetzt unmittelbar anschließende offene Frage ist:

Wie wird Smart IoT auf der Feldebene nun praktisch, in Hard- und Software gegossen, realisiert?

Oder ganz einfach formuliert: „Wie kommen jetzt die Felddaten schnell, einfach und leistungsarm ins weltumspannende Internet und von dort weiter zum Anwender?“

Und bei der Beantwortung dieser Frage schlägt die Stunde der **funkbasierten OG-Netzwerke ...**

4 • Die funkbasierten 0G-Netzwerke

Das Internet of Things benötigt auf der untersten Feldebene ein leistungsstarkes, effizientes und sicheres Datenübertragungssystem.

Speziell hierfür wurden in den letzten Jahren die so genannten '0G-Netze' entwickelt. In Zeiten von 5G (5. Generation der Mobilfunknetze) bedeutet 0G allerdings keinesfalls einen Rückschritt in die tiefe Vergangenheit.

0G-Netze sind vielmehr daraufhin optimiert, kleinste Datenmengen über große Entfernungen, extrem leistungsarm und kostenminimal zu übertragen.

Über solche Verbindungen werden eben keine Sprache, keine Fotos, keine Videos und keine Files mit (extrem) hohen Datenraten übertragen, sondern höchstens 1-50 Sensordaten, Statusinformationen oder Geolokalisations-Informationen über den aktuellen Standort beweglicher Feldstationen.

In die andere Richtung werden kurze Ansteuerinformationen für Aktoren, knappe Texte zur Anzeige auf Vor-Ort-Displays oder (Um)Schaltinformationen für die Feldstation selber transportiert.

Die dabei notwendigen Datenübertragungsraten sind im Allgemeinen unkritisch und sehr niedrig.

Um diese Anforderungen des IoT zu erfüllen wurden verschiedene, natürlich untereinander inkompatible, 0G-Netzwerkkonzepte entwickelt und realisiert, die unter dem Oberbegriff **Low Power Wide Area Network (LPWAN oder LPN, Niedrigenergieweitverkehrsnetzwerk)** zusammengefasst werden, [41].

Die **Abb.4.1** zeigt sehr anschaulich, wie diese LPWA(N)-Techniken/Netzwerke einzuordnen sind:

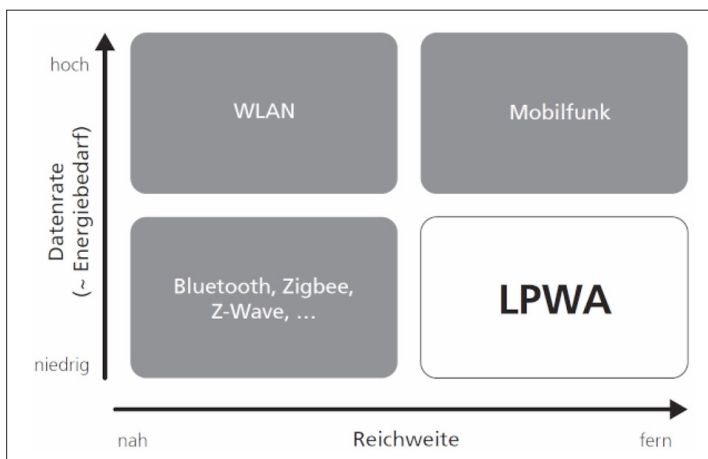


Abb.4.1: Die Einordnung der LPWA-Techniken/Netzwerke, [42]

Somit lassen sich die **grundsätzlichen Anforderungen an OG-Netzwerke** als Rückgrat für das Internet of Things detaillierte wie folgt formulieren:

- Realisierung einer funkbasierten Datenübertragung, denn die Verlegung von Kabel(strängen) im Feldbereich ist heutzutage nicht mehr möglich, weder technisch noch wirtschaftlich.
- Datenübertragung aus den unterschiedlichsten lokalen Gegebenheiten heraus: angefangen vom Feldbereich im wahrsten Sinne des Wortes (Freifeld, Wald, Straße, Autobahn, Eisenbahnstrecke), über mehr oder weniger geschlossene Fahrzeuge (PKW, LKW, Zug, Container-Schiff, Flugzeug), aus ´einfach´ umbauten Räumen (Gebäuden) heraus (Häuser, Lagerhallen, Garagen) bis hin zu einer Übertragung aus ´massiv´ umbauten Räumen (Tiefgaragen, Schächte, Autobahn- und Eisenbahntunnel, Versorgungs- und Kanalsysteme).
- Da die Feldstationen im Allgemeinen ihre Sendungen direkt an entsprechende Basisstationen (Gateways) übertragen, ist dabei eine möglichst große überbrückbare Entfernung erforderlich, damit die Anzahl der Basisstationen zur räumlichen Abdeckung einer bestimmte Region oder gar eines gesamten Landes möglichst gering bleibt.
- Es sollten möglichst keine oder zumindest sehr geringe Kosten für die reine Datenübertragung anfallen, d.h. nach Möglichkeit Nutzung von Frequenzbereichen in den lizenz- und gebührenfreien ISM-Bändern.
- Ein extrem energieeffizienter Betrieb der Feldstationen (einfache Schaltungstechnik) ist unabdingbar, damit die Versorgung einer solchen Station autark über mehrere Monate oder sogar über mehrere Jahre ohne Batteriewechsel möglich ist. Alternativ können zur Speisung der Feldstationen kleine Solargeneratoren mit Akkumulator-Pufferung eingesetzt werden, um so einen unterbrechungsfreien 365d/24h-Betrieb zu ermöglichen. Ein direkter Zugang zu einem 230V-Wechselspannungsanschluss ist im Feld sehr oft nicht möglich.
- Anschlussmöglichkeiten (d.h. industrielle Standardschnittstellen) zum Anschluss vielfältiger Sensoren, Aktoren und bei Bedarf lokaler Vor-Ort-Anzeigeneinheiten sollten an der Feldstation vorhanden sein.
- Keine hohen Datenraten, keine großen Datenmengen, nur Übertragung von Sensor-, Aktor-, Zustands- und Standort-Daten.
- Einfacher Aufbau und einfache Wartung von OG-Netzwerken mit mehreren hundert bzw. tausenden unterschiedlicher Feldstationen.
- Einfache Integration der OG-Netze in die IT des Anwenders bzw. Einsatz leistungsfähiger Dashboard-Systeme zur Datenvisualisierung, Datenauswertung und Datenspeicherung.

Aktuell (Stand: 09.2020) wird der europäische/weltweite Markt von vier großen 0G-Netzen/Konzepten dominiert bzw. im wahrsten Sinne des Wortes 'abgedeckt', [41]:

- NB-IoT
- MIOTY
- LoRa / LoRaWAN
- **Sigfox**

Im Rahmen dieses Buches wollen wir uns nun ausführlich mit dem Sigfox-Netzwerk beschäftigen, da dieses zurzeit weltweit die größte Ausdehnung bzw. Abdeckung besitzt.

5 • Das Sigfox-Netzwerk – Ein Überblick

Zum Einstieg erläutern wir in einem kurzen Überblick zunächst die grundlegende Struktur und einige Grundlagen zum Sigfox-Netzwerk.

Detailliertere Ausführungen folgen dann in den nächsten Kapiteln.

Man unterscheidet im Sigfox-Netzwerk die beiden möglichen Transferrichtungen:

Den **Uplink**: die Sigfox-Feldstationen senden ihre Daten (Mess-, Zustands-, Statusinformationen) an den Anwender.

Den **Downlink**: der Anwender sendet Daten (Parameterwerte, Ausgabedaten, Umschaltbefehle) an die Sigfox-Feldstationen.

Der Uplink

Das grundlegende Konzept des Uplink-Datentransfers (die Sigfox-Feldstationen senden ihre Daten an den Anwender) ist in der Abb.5.1 gezeigt:

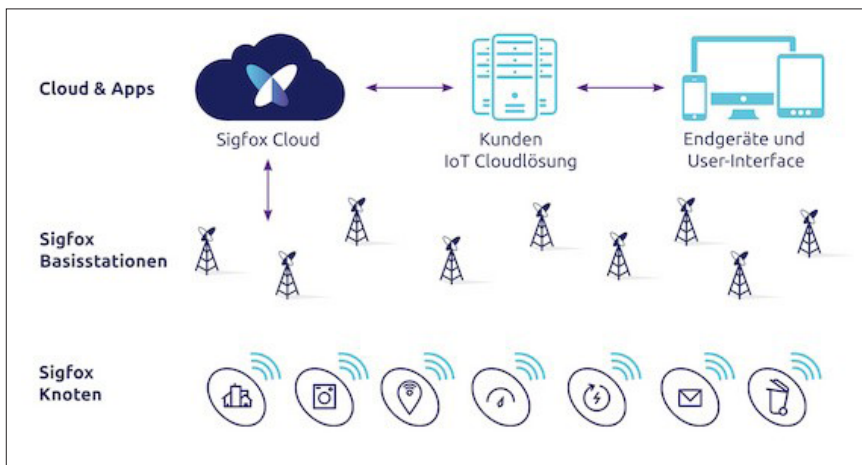


Abb.5.1: Die grundlegende Uplink-Struktur des Sigfox-Netzwerkes (© Sigfox)

Die **Sigfox-Feldstationen** (auch **Sigfox-Knoten** oder **Sigfox-Device** genannt) senden ihre Telegramme als Broadcast 'einfach so' über das lizenzfreie 868 MHz-ISM-Band (Deutschland) an die **Sigfox-Basisstationen**, die das Rückgrat des weltweiten Sigfox-Netzwerkes bilden (Datenaussendung der Sigfox-Feldstationen nach dem '**fire-and-forget-Prinzip**').

In jedem Telegramm der Sigfox-Feldstation befindet sich, neben der **Stationsidentifizierung (Stations-Nummer, Stations-ID)**, ein Nutzdatenfeld, **Payload** genannt, von maximal 12 Byte Größe. Das bedeutet, dass der Anwender mit jeder Aussendung maximal 12 Byte Mess- oder Zustands- oder andere Daten übermitteln kann.

Das hört sich zunächst wenig an, da Sigfox aber auf der Feldebene als 0G-Netzwerk seinen Einsatzzweck findet, ist das mehr als ausreichend.

So können z.B. 12 Messwerte á 1 Byte oder 6 Messwerte á 2 Byte oder 6 Messwerte á 1 Byte zusammen mit einem GPS-Datensatz á 6 Byte oder auch 2^{96} binäre Zustandsinformationen übermittelt werden!

Wichtig:

Da das Sigfox-Netzwerk im lizenzfreien ISM-Band arbeitet, sind aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen maximal nur 140 Aussendung pro Station pro Tag erlaubt.

Und das bedeutet, dass Sigfox-Feldstationen offiziell nur alle 10 Minuten ein Telegramm senden dürfen.

Diese Stationsaussendungen werden dann, je nach Abdeckung, von ein bis drei Sigfox-Basisstationen empfangen. Das alles ist vergleichbar mit der Funktionsweise der Mobilfunknetze, nur das über das Sigfox-Netzwerk reine Mess-/Zustands-/Positions-Daten übertragen werden und keine Sprache, Musik, Bilder oder Filme.

Um z.B. ganz Deutschland abzudecken sind ca. 1.200 solcher Sigfox-Basisstationen notwendig, wobei zurzeit (Stand Anfang 2020) bereits ca. 85% der Fläche von Deutschland abgedeckt sind.

Jede dieser Sigfox-Basisstation kann nun **bis zu einer Millionen Sigfox-Feldstationen verwalten**, d.h. deren Aussendungen empfangen, verarbeiten und weiterleiten.

Die Basisstationen senden nun alle empfangenen Daten via Internet oder GSM-Verbindung (4G/LTE) in die **Sigfox-Cloud**.

Physikalisch gesehen besteht diese Cloud aus der (großen) weltweiten Ansammlung aller Sigfox-Server (Server-Farmen), d.h. hier laufen alle Aussendungen der Sigfox-Feldstationen auf und werden zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

Die Daten werden nun innerhalb der Cloud automatisch an den entsprechenden Sigfox-Benutzeraccount des Anwenders weitergeleitet, in dem dieser seine Sigfox-Feldstation registriert hat.

In der Anwender-IT selber erfolgt dann die komplette Auswertung der Daten der Sigfox-Feldstationen.

Der Downlink

Auf der anderen Seite lassen sich auch Daten von der Anwender-IT zu den Sigfox-Feldstationen übermitteln ('Downlink'), **Abb.5.2:**

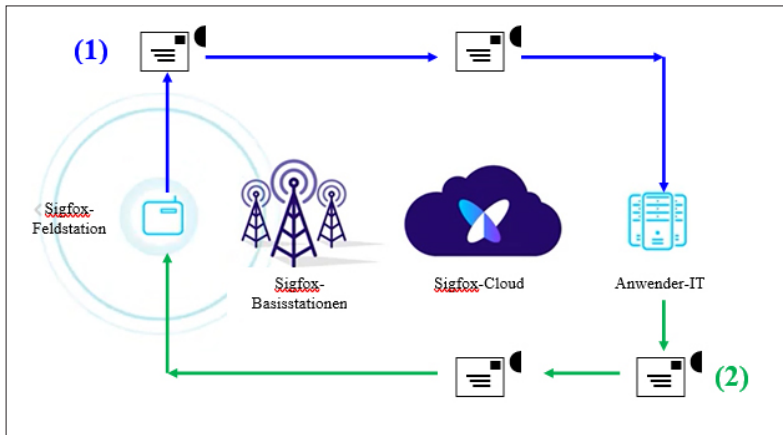


Abb.5.2: Die grundlegende Downlink-Struktur des Sigfox-Netzwerkes

Dabei realisiert Sigfox ein hochinteressantes Konzept, dass die **Datensicherheit** erheblich verbessert und kriminelle Hackerangriff extrem erschwert.

Beim Downlink fordert die Sigfox-Feldstation von sich aus Daten vom Anwender an und nur dann akzeptiert die Sigfox-Feldstation auch diese Daten.

Hinweis:

Der nachfolgend beschriebene Ablauf wird bei Sigfox auch als **’Bidirektionale Kommunikation’** bezeichnet, da der Datentransfer in beide Richtungen abläuft (während der Uplink die Daten ja nur in eine Richtung transportiert).

Aber alles der Reihe nach:

Weg (1):

Die Sigfox-Feldstation entscheidet von sich aus, zu welchem Zeitpunkt sie Downlink Daten (neue Parameter-Daten, Schaltbefehle für Aktoren, Umschaltbefehle für Messbereiche, etc.) von der Anwender-IT empfangen möchte.

Dazu setzt die Feldstation in ihrem normalen Uplink-Telegramm ein besonderes Bit auf log. ´1´, das **Bidirectional Flag** (s. Kapitel 5.1.2).

Dieses Telegramm wird dann, wie gewohnt, über die Basisstationen zur Cloud transportiert.

Dieses gesetzte Flag wird in der Cloud erkannt und über ein bestimmtes Telegramm wird die Anwender-IT nun von der Cloud darüber informiert, dass die Feldstation (neue) Daten haben möchte.

Weg (2):

Der Anwender kann jetzt entscheiden, ob er Daten zurück senden will oder nicht.

Sollen Daten zurück gesendet werden, so werden diese Daten über die Sigfox-Cloud und die Basisstationen an die entsprechende Feldstation zurück gesendet (Downlink).

Sollen keine Daten vom Anwender zur Feldstation gesendet werden, so wird von der Anwender-IT nichts ausgesendet.

Bei diesem Ablauf ist noch eine kleine 'Abkürzung' möglich: der Anwender kann eine bereits fertige Downlink-Nachricht für die Feldstation auch direkt in der Cloud hinterlegen. Wird dann die Downlink-Anfrage der Sigfox-Feldstation in der Cloud empfangen, so sendet die Cloud selber die Daten direkt an die Sigfox-Feldstation.

Und nun kommen die interessantesten Details:

Der Daten-Downlink kann nur von der Sigfox-Feldstation selber angefordert werden.

Die Kommunikation wird also immer von der Sigfox-Feldstation selbst initiiert.

Der Anwender selber hat keine Chance, die Sigfox-Feldstation direkt anzusprechen und so Daten zu übermitteln!

Die Sigfox-Feldstation reagiert nicht auf direkte Anfragen von außen, ihr Empfänger bleibt solange ausgeschaltet, wie die Sigfox-Feldstation es selber will!

Das schafft natürlich eine große Sicherheit gegenüber **unerwünschten Hacker-Angriffen**, da die Sigfox-Feldstationen auf unerwünschte 'Anfragen' von außen gar nicht reagieren bzw. gar nicht reagieren können.

Und weiterhin: nachdem die Feldstation das Uplink-Telegramm mit der Downlink-Anforderung gesendet hat, wartet die Feldstation genau 25 Sekunden auf eine Antwort von der Anwender-IT bzw. von der Cloud.

Oder anders ausgedrückt:

Für genau 25 Sekunden bleibt die Feldstation auf Empfang (hält den Empfänger aktiviert).

Nach dieser Zeit wird der Empfänger wieder abgeschaltet, egal ob eine Downlink-Nachricht empfangen wurde oder nicht.

(Benötigt die Feldstation aber dennoch Downlink-Daten und sind in dieser Zeit allerdings keine angekommen, so kann sie erneut einen Downlink anfordern)

Das wiederum hat jetzt zwei weitere sehr positive Effekte: zum einen wird **Energie gespart**, da der Empfänger nicht permanent durchläuft und zum anderen ergibt sich auch hier ein erhöhter **Schutz gegen unerwünschte Hacker-Angriffe**, da der Empfänger nur für sehr kurze Zeit auf Zeichen reagiert.

Als Nachteile dieses Konzeptes können allerdings drei Punkte angesehen werden.

Der Anwender kann niemals direkt, also 'ganz spontan', Downlink-Nachrichten an die Feldstationen senden. Er muss immer warten, bis die sich die Feldstationen von sich aus melden und Downlink-Nachrichten anfordern bzw. haben wollen.

Im Sigfox-Netzwerk sind offiziell nur **vier Downlink-Aktionen pro Station und pro Tag** erlaubt.

Mit einem Downlink-Telegramm können immer nur **genau acht Nutzbytes** übertragen werden.

Das reicht für Parameter-/Grenzwert-Änderungen, Aktor-Schaltaktionen, das Umschalten von Messbereichen, etc. aus, nicht aber für umfangreiche Upgrade-Aktionen innerhalb der Feldstationen.

Allerdings wirken sich in der Praxis diese Einschränkungen in vielen IoT-Applikationen bei weitem nicht als gravierende Nachteile aus.

Nach diesem kurzen Überblick kommen wir nun zu einigen wichtigen Details [26, 27] ...

5.1 Die Sigfox-Übertragungstechnik

Die Sigfox-Stationen im Feld senden ihre Daten in den **lizenzfreien ISM-Bändern** der jeweiligen Länder aus, so dass für die Anwender bei Benutzung dieser frei gegebenen Frequenzen keinerlei zusätzliche Kosten entstehen.

„Als ISM-Bänder (Industrial, Scientific and Medical Band) werden Frequenzbereiche bezeichnet, die durch Hochfrequenz-Geräte in Industrie, Wissenschaft, Medizin, in häuslichen und ähnlichen Bereichen lizenzfrei und meist genehmigungsfrei genutzt werden können.“, [28]

Da diese Frequenzbänder aber eben auch für andere vielfältige Funkanwendungen frei geben sind (z.B. Handsender für Garagentore, andere digitale Mess- und Steuerungssysteme), sind Störungen des Datenverkehrs nicht ganz auszuschließen. Aber das Sigfox-Konzept sieht auch hier effektive Lösungen vor, so dass solche Beeinflussungen stark minimiert werden.

Allerdings sind die konkreten Regelungen bezüglich der ISM-Bänder in vielen Ländern unterschiedlich, wobei sich die größten Unterschiede in Bezug auf das eigentliche **Frequenzband** (im allgemeinen zwischen 862 MHz und 928 MHz) und auf die maximal **ausstrahlbare Leistung** (im allgemeinen zwischen 14 dBm und 24 dBm EIRP) ergeben.

Daher ist die Welt im globalen Sigfox-Netzwerk zur Zeit in sieben unterschiedliche 'Radio Configuration (RC)'-Zonen aufgeteilt, in denen gleiche oder ähnliche ISM-Regularien festgeschrieben sind.

Für diese Bereiche werden dann die unterschiedlichen, länderspezifischen Funkparameter (Betriebsfrequenzen, maximale Sendeleistung, Frequenzzugriffsverfahren, maximale Sendedauer, etc.) für die Sigfox-Stationen detailliert festgelegt.

In **Abb.5.1.1** ist diese Aufteilung in RC-Zonen einmal dargestellt:

Geographical zones

There are currently 7 zones with Sigfox radio configurations. The countries in these zones are:

- RC1:
 - Europe: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, **Germany**, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Mauritius, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom.
 - Overseas France: French Guiana, French Polynesia, Guadeloupe, Martinique, Mayotte, New Caledonia, Reunion.
 - Middle East and Africa: Botswana, Kenya, Nigeria, Oman, South Africa, Swaziland, United Arab Emirates.
- RC2: Brazil, Canada, Mexico, Puerto Rico, USA.
- RC3: Japan.
- RC4:
 - Latin America: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panama, Peru, Trinidad & Tobago, Uruguay.
 - Asia Pacific: Australia, Hong Kong, Indonesia, Malaysia, New Zealand, Singapore, Taiwan, Thailand.
- RC5: South Korea.
- RC6: India.
- RC7: Russia. *

* This is a draft release subject to potential change until final release expected in S1 2020.

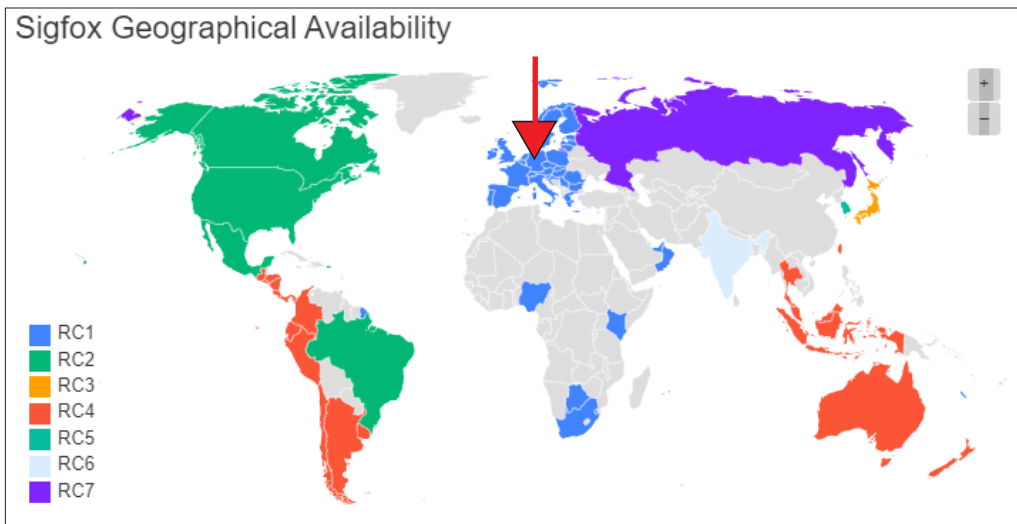


Abb.5.1.1: Die Aufteilung der Sigfox-Welt in 'Radio Configuration (RC)'-Zonen (Bereiche), (© Sigfox, [27])

Deutschland liegt dementsprechend in der Zone **RC1**.

In diesen RC-Zonen gelten nun die folgenden Randbedingungen für das funktechnische Aussenden der Telegramme, **Abb.5.1.2**:

	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6	RC7
Uplink center frequency (MHz)	868.130	902.200	923.200	920.800	923.300	865.200	868.800
Downlink center frequency (MHz)	869.525	905.200	922.200	922.300	922.300	866.300	869.100
Uplink data rate (bit/s)	100	600	100	600	100	100	100
Downlink data rate (bit/s)	600	600	600	600	600	600	600
Sigfox recommended EIRP (dBm)	16	24	16	24	14	16	16
Specifics	Duty cycle 1% *	Frequency hopping **	Listen Before Talk ***	Frequency hopping **	Listen Before Talk ***		Duty cycle 1% *

- * **Duty cycle** is 1% of the time per hour (36 seconds). For an 8 to 12 bytes payload, this means 6 messages per hour, 140 per day.
- ** **Frequency hopping**: The device broadcasts each message 3 times on 3 different frequencies. Maximum On time 400 ms per channel. No new emission before 20 s.
- *** **Listen Before Talk**: Devices must verify that the Sigfox-operated 200 kHz channel is free of any signal stronger than -80 dBm before transmitting.

Abb.5.1.2: Die funktechnischen Randbedingungen in den einzelnen RC-Zonen (Deutschland: RC1, © Sigfox, [27])

5.1.1 Uplink-Technik

Uplink bedeutet nun, dass die Sigfox-Feldstationen auf den Frequenzen des ISM-Bandes ihre Nutzdaten in das Sigfox-Netzwerk, zu den Sigfox-Basisstationen, senden.

Von dort aus werden die Daten dann in die Sigfox-Cloud übertragen und der Anwender erhält danach von dort via Callback diese Nutzdaten und kann sie weiter verarbeiten.

In der Abb.5.1.2 sind einige Eckdaten der Funkübertragung zwischen den Sigfox-Feldstationen und den Sigfox-Basisstationen aufgeführt, die wir nachfolgend etwas näher spezifizieren wollen.

Bei der Angabe der **maximalen Uplink-Sendeleistung** der Feldstationen muss man beachten, welche 'Bezugsantenne' hierbei zugrunde gelegt wird. Dadurch ergeben sich leicht unterschiedliche Angaben: einmal als 16 dBm **EIRP** und einmal als 14 dBm **ERP**. Die ERP-Angabe (Equivalent Radiated Power) wird häufig verwendet und gibt die von einer Lambda-Halbe-Dipol-Antenne abgestrahlte HF-Leistung an, wobei 14 dBm umgerechnet einer Sendeleistung von **25 mW** entsprechen.

Der Leistungsbereich bis zur maximalen Uplink-Sendeleistung wird im Sigfox-Standard noch weiter unterteilt. So legt man dort für die einzelnen Stationen vier unterschiedliche Sendeleistungsklassen fest, um in der Praxis einen möglichst **energie-optimalen Betrieb** der Stationen zu ermöglichen.

Wenn man z.B. weiß, dass die Feldstationen in der Nähe einer oder mehrerer Basisstationen verteilt sind, kann man natürlich die Sendeleistung (erheblich) reduzieren und damit Energie sparen, dadurch eine wesentlich länger Batterielebensdauer erreichen und hat trotzdem die Gewissheit, dass die Telegramme noch einwandfrei empfangen werden.

Liegen die Feldstationen dagegen weiter von den Basisstationen entfernt, so kann man die Sendeleistung bis zum erlaubten Maximum erhöhen (dann natürlich auf Kosten des Energieverbrauchs und der Batterielebensdauer), um noch einen problemlosen Empfang der Telegramme zu gewährleisten.

Nachfolgend ist diese Unterteilung in die so genannten 'Uplink-' oder 'Produkt-Klassen **0u – 3u**' für Stationen in der RC1-Zone (Deutschland) aufgeführt, **Tab.5.1.1.1**:

Uplink-Klasse (Produkt-Klasse)	0u	1u	2u	3u
Sendeleistung im Bereich von ... (EIRP) in Zone RC1	12 dBm ... 16 dBm (16 dBm ist das Maximum für die RC1-Zone)	7 dBm ... 12 dBm	2 dBm ... 7 dBm	< 2 dBm

Tab.5.1.1.1: Die vier Uplink(Produkt)-Klassen für Sigfox-Stationen in der RC1-Zone

Nähre Informationen zu den anderen RC-Zonen finden sich im Sigfox-Standard, [26, 27].

Die meisten zur Zeit kommerziell erhältlichen Sigfox-Stationen arbeiten 'zur Sicherheit' in der Uplink-Klasse 0u, also mit der maximal möglichen Zonen-Sendeausgangsleistung.

Nachfolgend eine aktuelle Übersicht (Stand 04.2020) über die sich daraus ergebende Abdeckungs- bzw. **Empfangssituation** in Deutschland insgesamt, **Abb.5.1.1.1**:

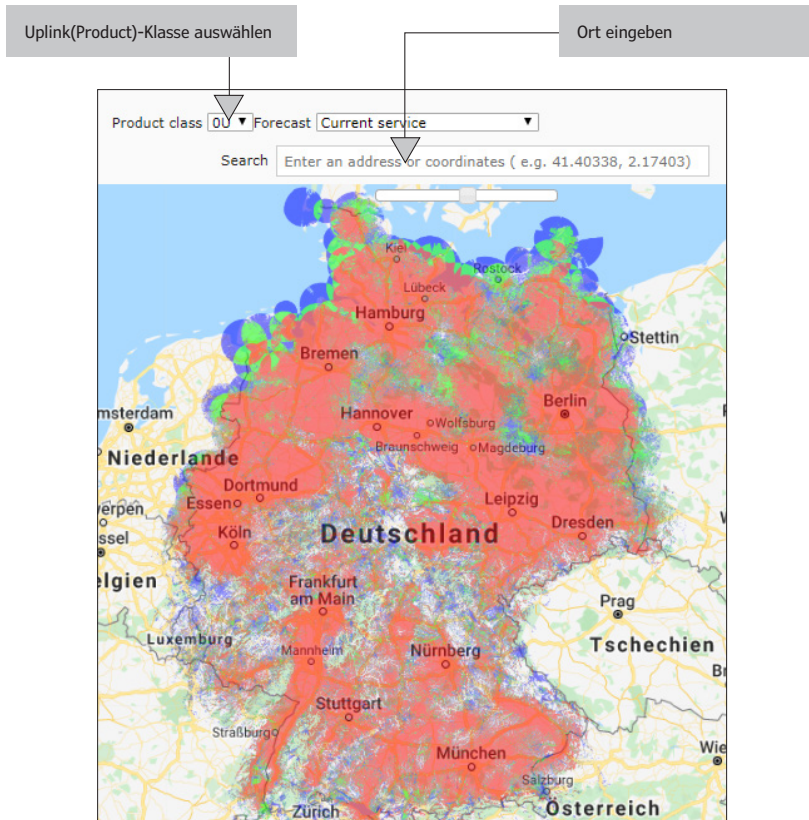


Abb.5.1.1.1: Die Sigfox-Abdeckung in Deutschland für Stationen der Uplink-Klasse 0u

(Diese Detailkarte kann man jeder Zeit über das Sigfox-Backend abrufen, wenn man sich dort angemeldet bzw. registriert hat, s. Kapitel 6)

Hier sieht man die Sigfox-Verhältnisse in ganz Deutschland. Wichtig sind nun die Einfärbungen mit den **drei Farben**, die die Abdeckungen mit bzw. durch die Sigfox-Basisstationen ausdrücken:

Blau: in diesen Gegenden wird eine Sigfox-Feldstation von einer Basisstation empfangen.

Grün in diesem Bereich wird eine Sigfox-Feldstation von zwei Basisstationen empfangen.

Rot: hier wird eine Sigfox-Feldstation von mindestens drei oder mehr Basisstationen einwandfrei empfangen.

Diese Empfangssituationen sind natürlich direkt von der jeweiligen Sendeleistung der Sigfox-Feldstationen abhängig und daher muss man im entsprechenden Feld oberhalb der Karte noch die **Uplink/Produktklasse** der Station angeben.

Gibt man im **Search-Feld** (oberhalb der Karte) nun einen **ganz konkreten Ort** an, so kann man die Empfangssituation dort (einermaßen) exakt ermitteln.

In der **Abb.5.1.1.2** ist das einmal für das bekannte **Deutsche Bergbaumuseum** in Bochum (Herz des Ruhrgebiets) für 0u- und 3u-Stationen dargestellt:

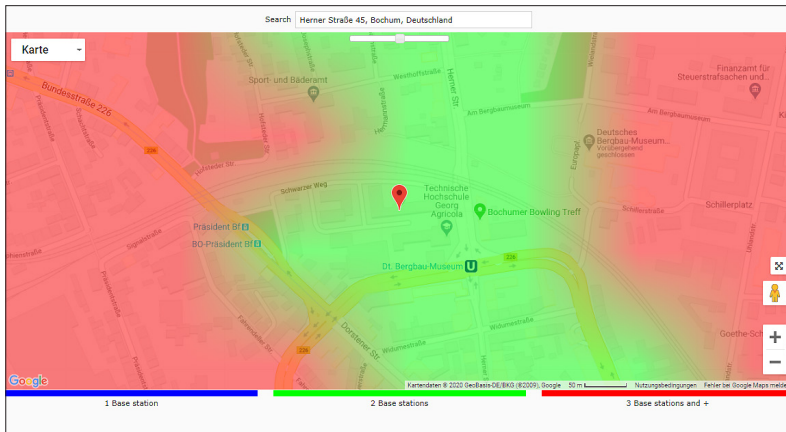
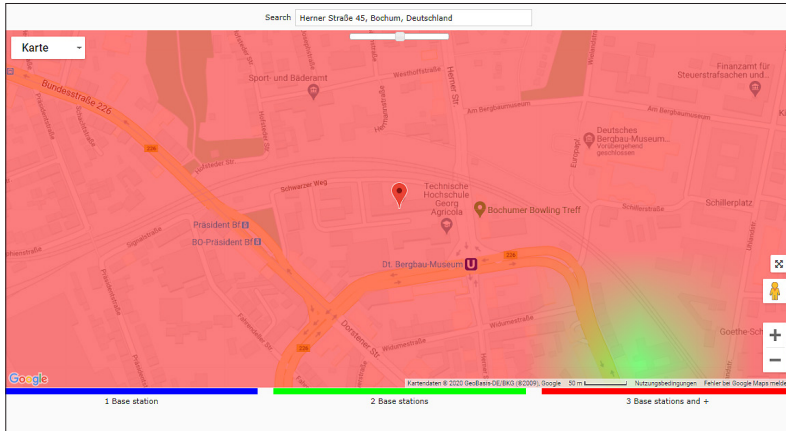


Abb.5.1.1.2: Die Empfangssituation für 0u- und 3u-Sigfox-Stationen am gleichen Standort

Man erkennt sehr gut an der Einfärbung, wie die Anzahl der empfangenden Basisstationen bei 3u-Stationen etwas abnimmt. 0u - obere Abbildung.

Wichtig:

Hier sollten Sie jetzt einmal ihren eigenen Standort eingeben, um zu überprüfen, wie die Sigfox-Empfangssituation bei Ihnen vor Ort aussieht.

Das Ganze funktioniert natürlich auch **weltweit**. So lassen sich sehr einfach die Sigfox-Empfangsverhältnisse z.B. in **Washington, USA, Rund ums Weiße Haus**, ermitteln, **Abb.5.1.1.3**:

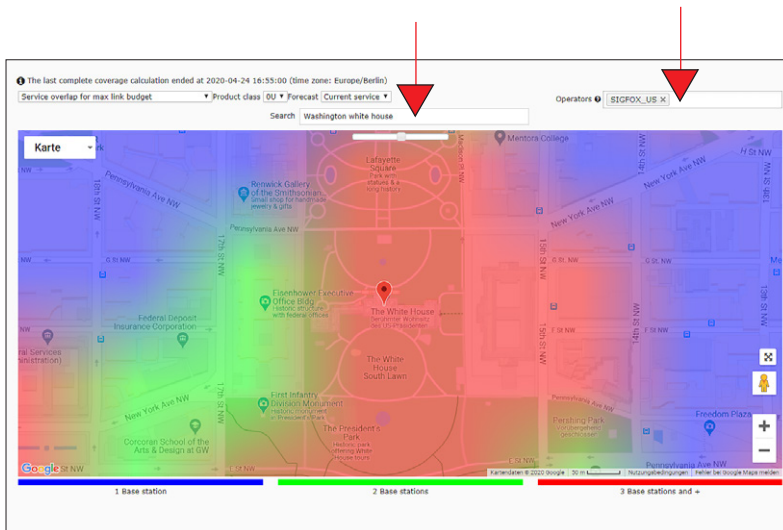


Abb.5.1.1.3: Das Sigfox-Netzwerk weltweit – auch im Weißen Haus lassen sich Sigfox-Stationen problemlos betreiben (allerdings in der Zone RC2)

Man muss hierbei nur beachten, dass man oben rechts im **‘Operators-Feld’** den jeweiligen lokalen Sigfox-Netzwerk-Betreiber richtig auswählt (hier: **‘Sigfox_US’**), sonst sieht man keine Abdeckungen auf der Karte.

Zusammengefasst gilt also:

- Jede Sigfox-Station wird funktechnisch im allgemeinen für eine RC-Zone ausgelegt.
- Damit ist ein Betrieb in anderen RC-Zonen zunächst nicht möglich (siehe aber auch Kapitel 5.2).
- Man muss also beim Kauf / bei der Entwicklung von Sigfox-Stationen beachten, in welcher RC-Zone diese eingesetzt werden sollen, da jede Sigfox-Station nur in ihrer zugewiesenen RC-Zone arbeiten kann und darf.
- Die weltweite Datenübertragung zwischen den einzelnen Zonen wird aber problemlos vom Sigfox-Netzwerk abgewickelt. Man setzt zum Beispiel eine RC2-Station im Weißen Haus (Washington, USA) ein und kann so nach wenigen Mausklicks die Daten via Internet in RC1-Deutschland einwandfrei empfangen. Alles **‘was dazwischen liegt’** regelt das Sigfox-Netzwerk und ist für den Anwender eigentlich uninteressant.