

# Datengetriebenes Ressourcenmanagement für unlizenzierte Internet-of-Things Frequenzbänder

## Problemstellung

Die fortwährende Digitalisierung und die damit einhergehend stetig wachsende Anzahl vernetzter Geräte und Systeme impliziert einen massiven Anstieg von Teilnehmern bei einer gleichbleibenden Menge zur Verfügung stehender spektraler Funkressourcen. Die 5G Mobilfunkgeneration zielt für den Bereich *massive Machine Type Communication* (mMTC) auf eine Nutzerdichte von 1.000.000 Geräten pro Quadratkilometer<sup>1</sup> ab. Dazu setzt 5G zunächst auf die Nutzung *lizenziertes* Frequenzbänder. In diesen kann eine Ressourcenzuweisung der einzelnen Teilnehmer realisiert werden, Studien zeigen allerdings, dass das geplante Teilnehmerdichteziel mit diesen Frequenzbändern allein nicht erreicht werden kann<sup>2</sup>.

Daher wird der ergänzende Einsatz von *unlizenzierten Frequenzbändern* (wie z.B. dem *Short-Range Device Band* (SRD, @ 868MHz) oder dem *Industrial, Scientific and Medical Band* (ISM, @ 2.4 & 5 GHz)) diskutiert. Aufgrund der einfachen und kostengünstigen Realisierbarkeit wird eine stetig steigende Anzahl von *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN) in unlizenzierten Frequenzbändern betrieben. Dies führt für jeden Anwender zu einer Vielzahl an möglichen Störeinflüssen, die durch verschiedenste Technologien verursacht werden, die jeweils unterschiedliche Kanalzugriffsverfahren nutzen. Eine zentrale Koordinierung wie in lizenzierten Mobilfunkfrequenzen kann dabei nicht stattfinden. Trotz regulatorisch verpflichtender Störminderungstechniken kann daher wegen der unkoordinierten Kanalzugriffe in unlizenzierten Frequenzbereichen keine Dienstgüte in Bezug auf Verfügbarkeit, Latenz etc. garantiert werden.

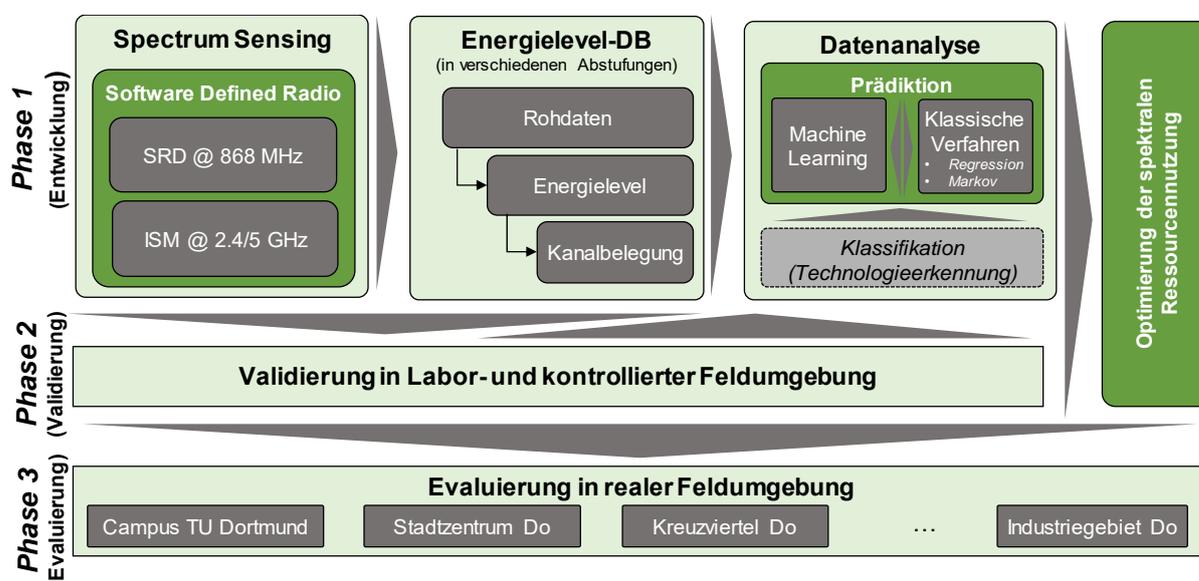


Abbildung 1: Übersicht der Aufgabenstellung der vorliegenden Masterarbeit

<sup>1</sup>ITU, “Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s),” International Telecommunication Union, Tech. Rep. ITU-R M.2410-0, 2017.

<sup>2</sup>Ericsson, “On 5G mMTC requirement fulfilment, NB-IoT and eMTC connection density,” Tech. Rep. R1-1703865, 2017.

Ziel dieser Arbeit ist es, das Potential, das durch die Nutzung unlizenzierter Frequenzbereiche geschaffen wird, auszuschöpfen und die spektrale Ressourcennutzung dieser Bänder zu optimieren. Dazu wird eine Analyse der spektralen Leistungsdichte anhand von modernen Machine Learning Verfahren durchgeführt, um daraus Technologie-unabhängig breitbandige Störpotentiale präzisieren und umgehen zu können.

### **Potentielle Arbeitsziele der Arbeit:**

Um eine Optimierung der spektralen Ressourcennutzung zu erreichen, werden die in Abbildung 1 dargestellten Arbeitsphasen und –schritte durchgeführt.

In der ersten Phase (Implementierungsphase) wird die Aufzeichnung des Spektrums in den 868 MHz & 2.4 GHz Frequenzbändern mittels *Software Defined Radio* (SDR) Systemen realisiert<sup>3</sup>. Die daraus resultierenden Daten können in verschiedenen Detailstufen persistiert und weiterverarbeitet werden. Aus dieser Datengrundlage wird anhand von State of the Art Machine Learning Verfahren<sup>4</sup> (in Abgrenzung zu klassischen statistischen Verfahren) die spektrale Auslastung für die Zukunft präzisiert und eine Klassifikation der Störeinflüsse durchgeführt. Anhand der präzisierten Ressourcenbelegung sollen optimierte Kanalzugriffe (Wahl von Frequenzkanäle und Zeitschlitz) für Datenübertragungen ermittelt werden, um Störeinflüsse zu minimieren und dadurch höhere spektrale Effizienz zu erzielen.

Die Ergebnisse und Methoden aus der Implementierungsphase werden parallel in der zweiten Phase in kontrollierten Labor- und Feldumgebungen validiert und optimiert.

Abschließend werden die entwickelten Methoden am Beispiel von LoRaWAN Netzwerken in realen Felddemonstratoren erprobt und in ihrer Leistungsfähigkeit bewertet. Dazu werden verschiedene relevante Szenarien für IoT-Anwendungen genutzt, sowohl auf dem Campus der TU Dortmund als auch in innerstädtischen und industriellen Umgebungen.

Das Optimierungspotential, das sich durch die intelligente Ressourcennutzung ergibt, wird schließlich in den Kontext aktueller Forschungsergebnisse zur Skalierbarkeit von IoT-Netzwerken eingeordnet und bewertet<sup>5</sup>.

### **Vorarbeiten, eingesetzte Methoden und Werkzeuge:**

- Die Arbeit greift ein bestehendes Skalierbarkeitsmodell für IoT Technologien [1] auf und erweitert dieses um die Möglichkeit der Priorisierung von Anwendergruppen
- Als Beispieltechnologie fokussiert sich die Arbeit auf LoRa(WAN) Systeme im 868 MHz und 2,4 GHz Band
- Experimentelle Validierung in vorhandene Feld- und Laborumgebung am Lehrstuhl

---

<sup>3</sup> Lauridsen, M., Vejlgard, B., Kovacs, I. Z., Nguyen, H., & Mogensen, P. (2017). Interference measurements in the European 868 MHz ISM band with focus on LoRa and SigFox. In IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

<sup>4</sup> Jiang, C., Zhang, H., Ren, Y., Han, Z., Chen, K. C., & Hanzo, L. (2017). Machine Learning Paradigms for Next-Generation Wireless Networks. IEEE Wireless Communications, 24(2), 98–105.

<sup>5</sup> S. Böcker, C. Arendt, P. Jörke, C. Wietfeld, "LPWAN in the Context of 5G: Capability of LoRaWAN to Contribute to mMTC", In 2019 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT 2019), April 2019.