

27. VDE/ITG Fachtagung Mobilkommunikation, Mai 2023  
Thorsten Horstmann / Simon Weckmann

---

# Evaluation of LoRa in a Real-World Smart City: Selected Insights and Findings

# Agenda

---

## 1. Datenbasis und LoRaWAN der SWO

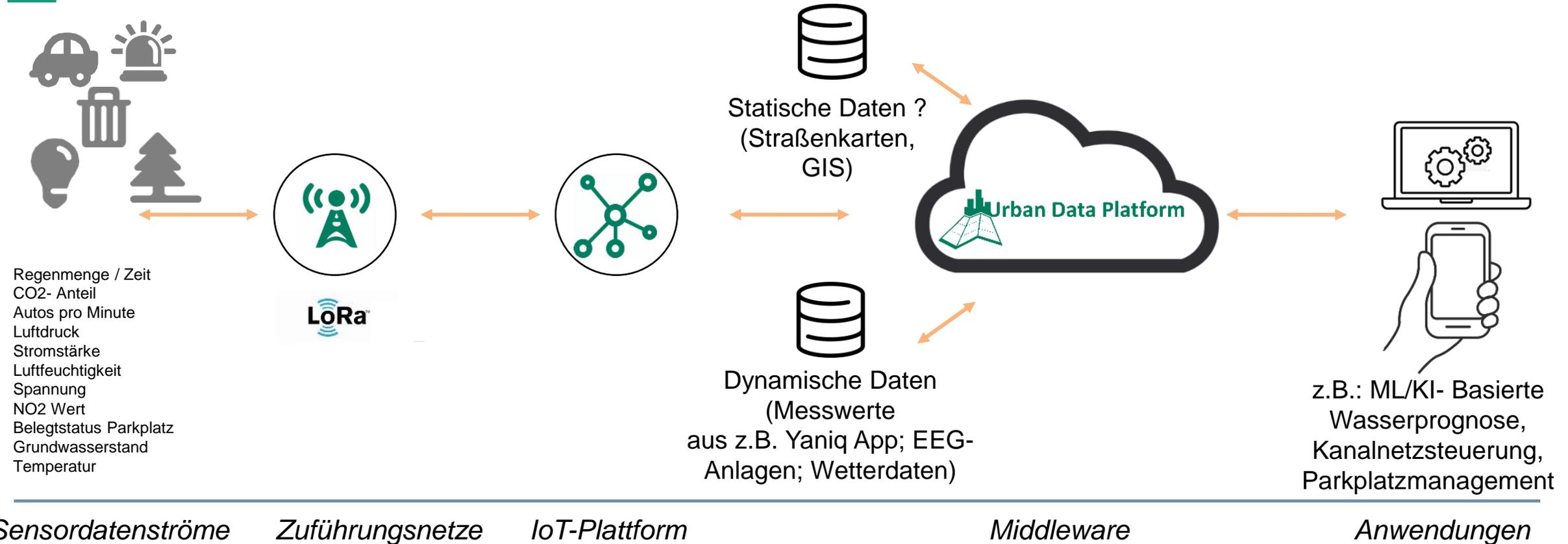
## 2. Ausgewählte Ergebnisse der Messung des LoRaWAN Netzes

- Idee und Durchführung der Messkampagne
- Warum kann man Messdaten nicht immer Vertrauen?
- Welche Auswirkungen hat eine hohe Dichte an Gateways?
- Wie kann sich der Bestimmung von Gebäudedämpfungen angenähert werden?
- Wie viele Gateways brauche ich wirklich?

## 3. Zusammenfassung

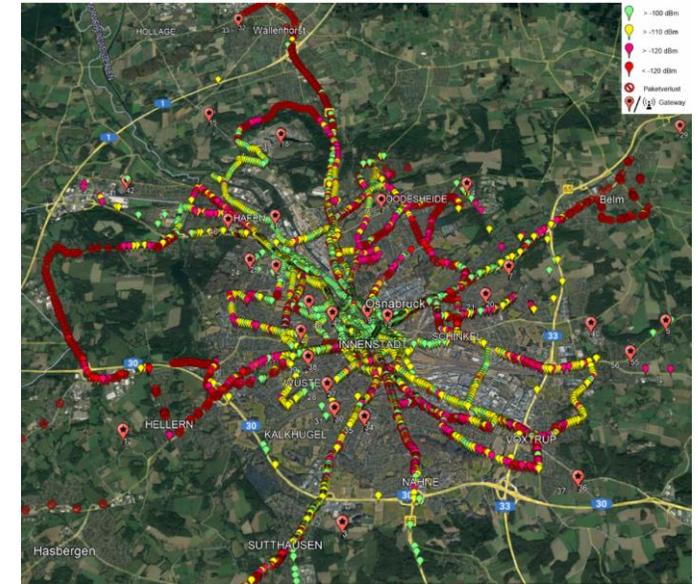
# Datenbasis der SWO

Digitale Sensorik, LoRaWAN, IoT Plattform, Urbane Datenplattform, (ML/KI)- Anwendungen



➤ **(Sensor-)daten sind Grundlage einer Smart City, nur so kann intelligent gesteuert werden**

# LoRaWAN der SWO



➤ **Ausbau für OS wird finalisiert – Aktuell Optimierung & regelmäßige Netzverfügbarkeitsmessungen**

# Konzept der Messkampagne

Oder: Warum klettern wir auf Müllautos rum?

## Besonderheit des LoRaWAN Netzes der SWO

- Über 60 Gateways
- Indoor und Outdoor Sensoren
- Sehr aktive Nutzung

## Idee: Möglichst vollständige Messung des Netzes

- Wie gut ist die Abdeckung?
- Nutzung von Abfallsammelfahrzeugen
  - Fahren nahezu durch das gesamte Stadtgebiet
  - Bleiben regelmäßig stehen

## Entwicklung eines autarken GNSS LoRa Sensors

- Kleiner, stromsparender Mikrokontroller
- LoRa Transceiver, GNSS, Beschleunigungssensor, Wettersensor
- Batteriebetrieb über mehrere Wochen



# Verifikation der Messmethode

Oder: Warum kann man Messdaten nicht immer Vertrauen?

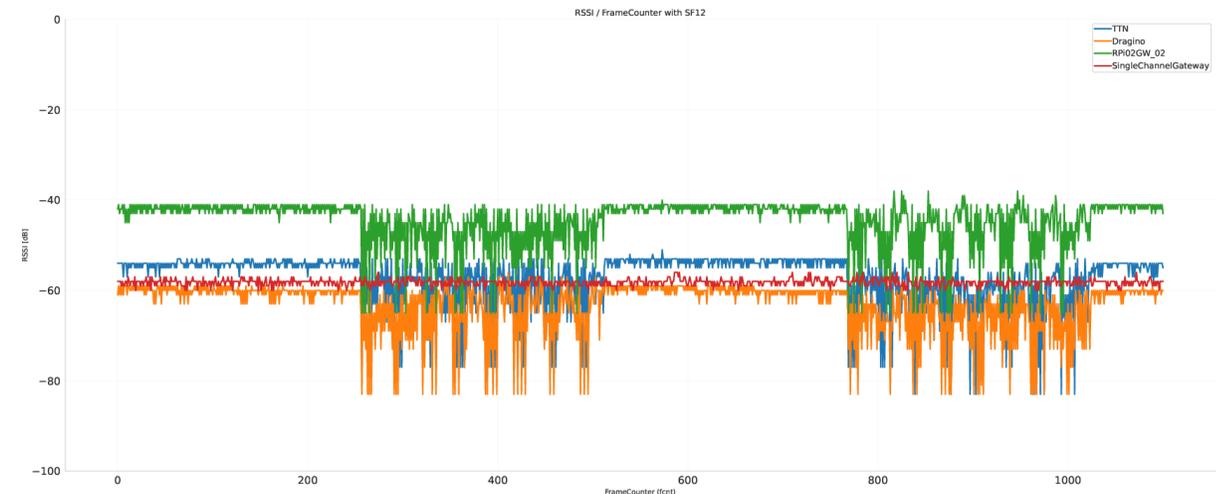
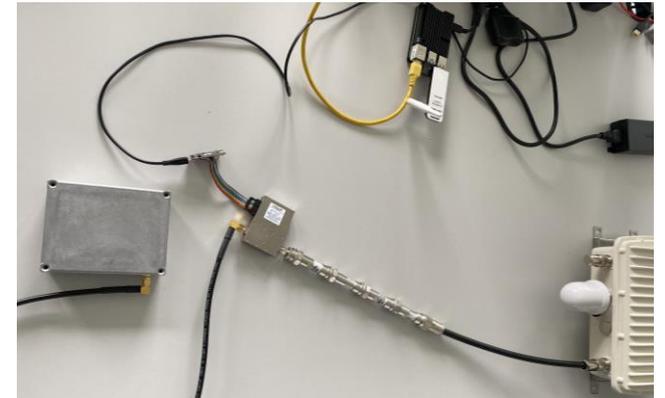
## Plan: Received Signal Strength Indicator (RSSI) zur Beurteilung der Signalstärke

- Überprüfung der gemeldeten RSSI Werte vom Gateway im Labor
  - Übertragung via HF Kabel
  - Sensor -> Variables Dämpfungsglied -> Gateway

## Überraschende Fluktuation der RSSI Werte

- Abhängig vom Frame-Counter (Modulo 256) 🤔
- Nur bei Spreading-Faktor 12
- Getestet mit verschiedenen LoRa Modems
- Bestätigt durch einen weiteren Nutzer im Semtech Forum
- Keine Antwort vom Semtech selbst
- SNR nicht betroffen

➤ **Nutzung des SNR zur Beurteilung der Netzabdeckung**



# Fakten zur Messkampagne

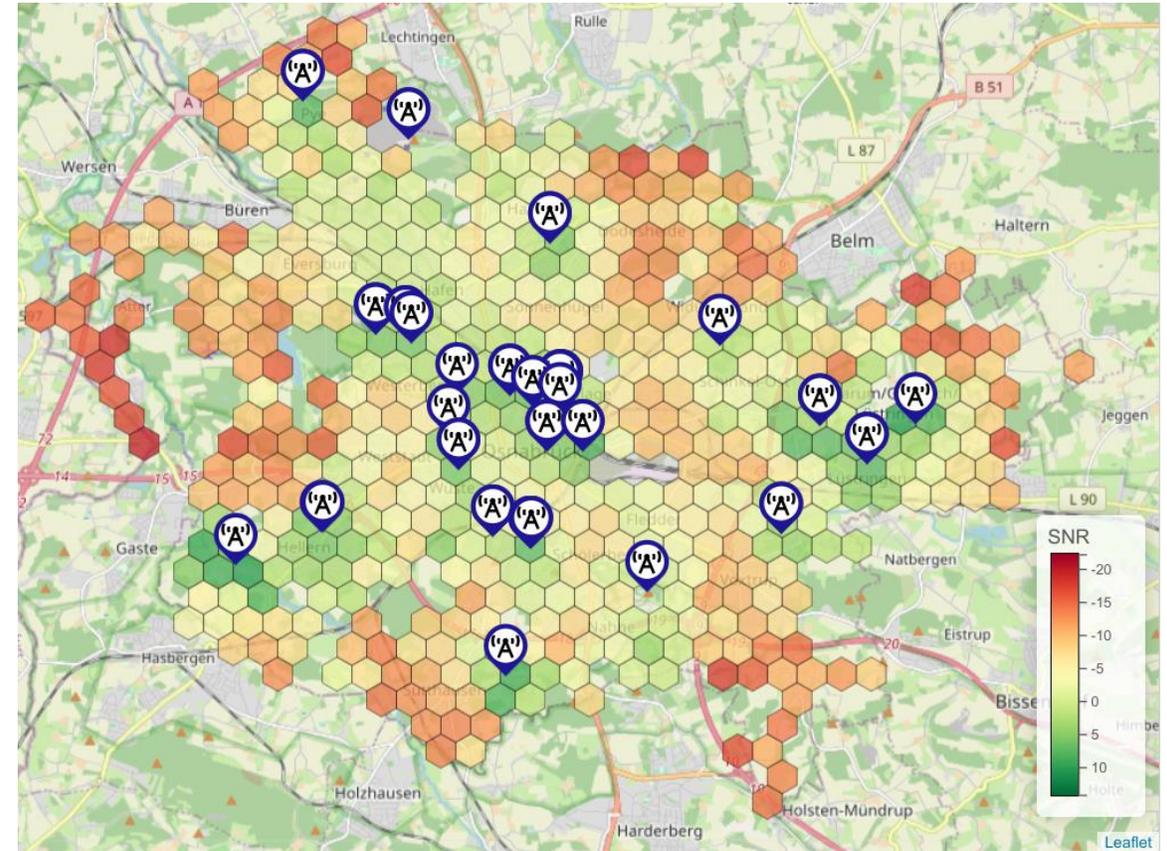
Oder: Wie wurden die Messdaten gesammelt?

## Messaufbau

- 9 Sensoren auf unterschiedlichen Abfallsammelfahrzeugen
- Sensor
  - detektiert Bewegung und wartet auf ausbleibende Beschleunigung
  - Ermittelt Standort via GPS
  - Sendet ein Paket mit den Sensordaten (SF 12 fix)
- Gateways empfangen und speichern es inkl. RSSI/SNR in einer DB
- Korrektur der GPS Ungenauigkeit durch Verschiebung auf die nächstliegende Straße
- Strikte Begrenzung auf das Stadtgebiet von Osnabrück

## Messung

- Zeitraum: 87 Tage (Dez. 2022 bis März 2023)
- **55.794** LoRa Pakete
- **303.791** Messdaten (ein Paket kann von mehreren Gateways empfangen werden)

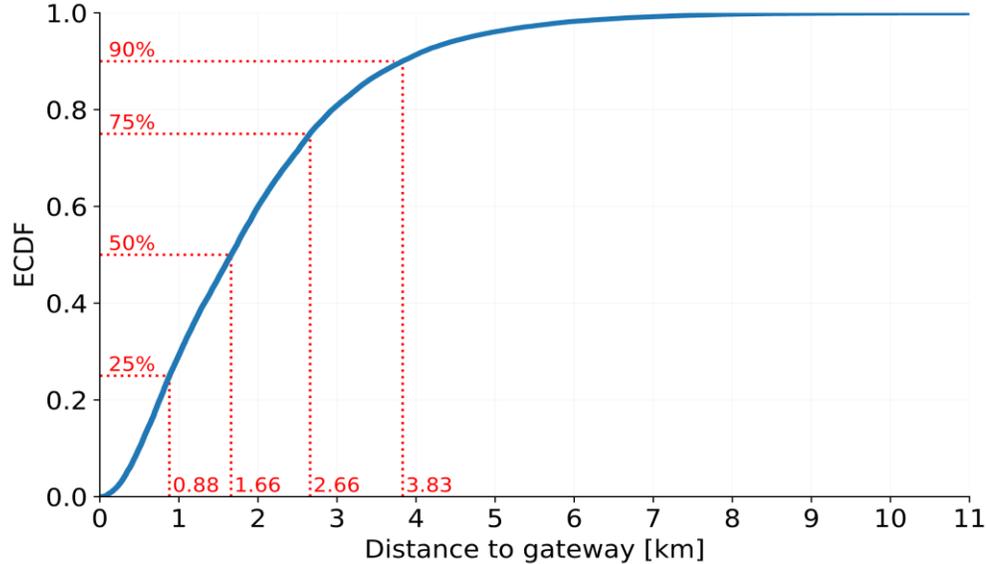


# Ergebnisse der hohen Dichte an Gateways

Oder: Wie ist der *Redundanz-Faktor* und wie groß ist durchschnittlich meine LoRaWAN Zelle?

## Überwiegend kurze Distanzen

- Durchschnittliche Distanz zum Gateway: Knapp 2km
- Weniger als 10% sind größer als 4km

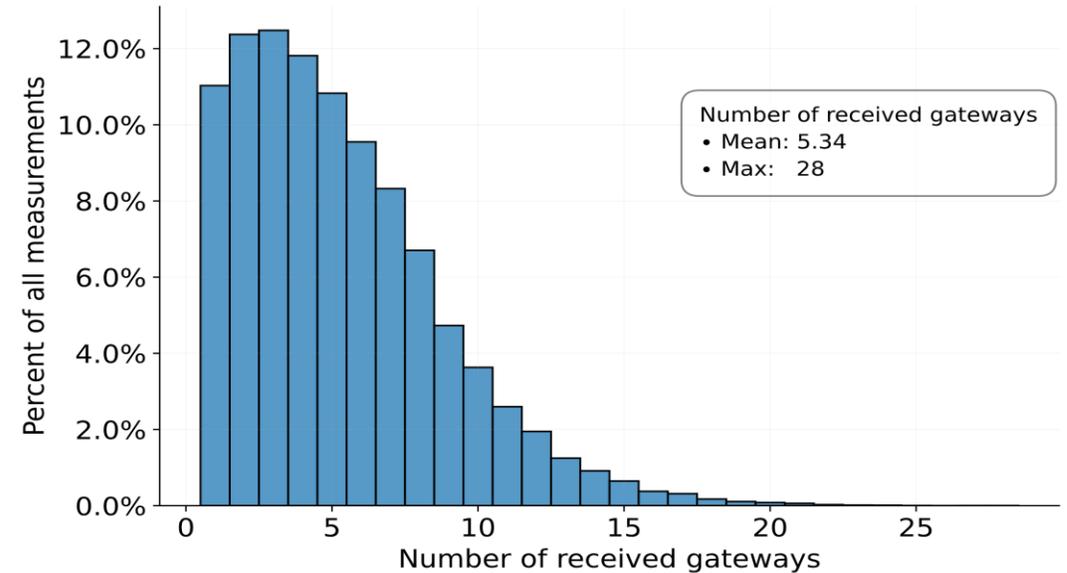


## Daraus resultiert

- Geringe Paketfehlerrate
- Bessere Signalstärken

## Hohe Redundanz

- Im Durchschnitt wurde ein Paket von 5 Gateways empfangen
- Lediglich 11% nur von einem Gateway



➤ **Werden so viele Gateways wirklich benötigt?**

# Verteilung der SNR Werte

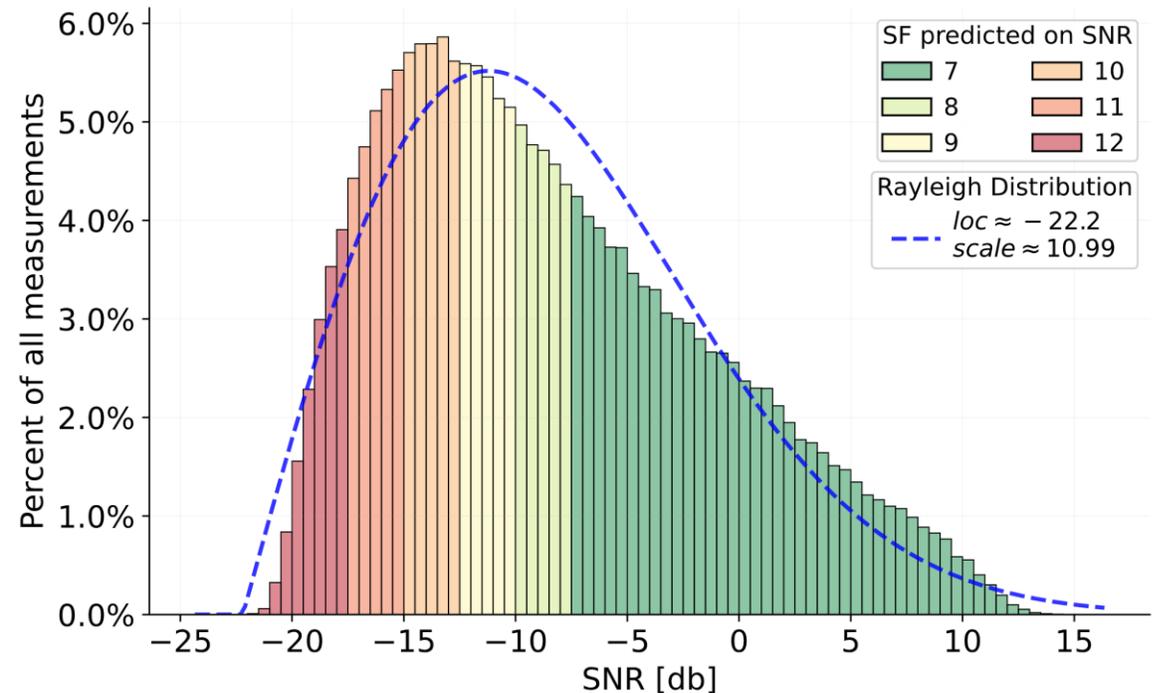
Oder: Welchen Spreading-Faktor können meine Sensoren nutzen?

## Durch die hohe Gateway Dichte, überwiegend sehr gute SNR Werte

- Wie zu erwarten, führen kurze Distanzen zu guten Signalstärken
- Werte folgen ungefähr einer angepassten Rayleigh Verteilung

## Rückschluss mit welchem SF der Sensor noch erfolgreich Daten hätte übertragen können

- Wichtig für die Netzplanung (ADR)
- Niedriger SF (und damit kürzere Sendezeit) insbesondere bei zusätzlicher (TLS-)Verschlüsselung von großer Bedeutung (Duty Cycle)



# Vergleich Outdoor / Indoor Messungen

Oder: Wie kann sich der Bestimmung von Gebäudedämpfungen angenähert werden?

## Funkausbreitung vom Dach eines großen Fahrzeugs ist fast ideal

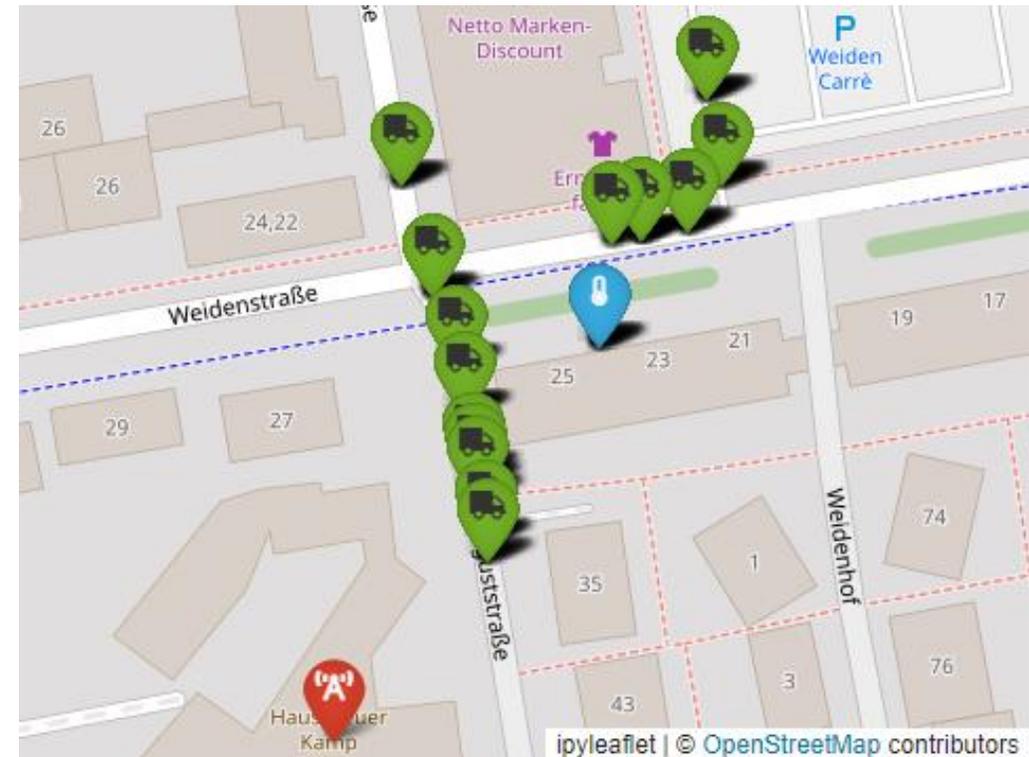
- Bei echten Use-Cases sind die Bedingungen komplizierter
- Outdoor-Modelle zur Signalausbreitung bieten gute Basis
- Gebäudedämpfungen machen Vorhersagen für Indoor schwierig

## Wärmemengenzähler an verschiedenen Standorten

- In der Regel im Keller verbaut
- Schicken periodisch Informationen
- Sammlung von 92.716 Werten von 10 Standorten

## Vergleich mit passenden Outdoor Messungen

- Radius von 50m
- Gleiche Gateways



# Vergleich Outdoor / Indoor Messungen

Oder: Wie kann sich der Bestimmung von Gebäudedämpfungen angenähert werden?

## Ergebnis

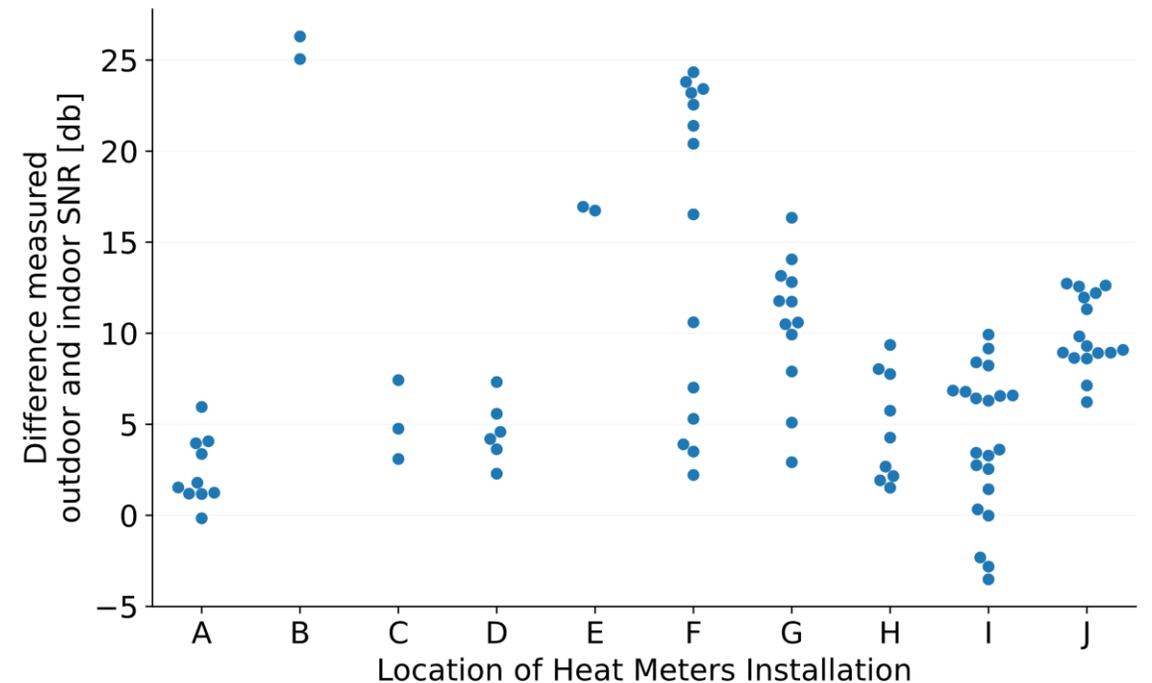
- Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Standorten / Gebäuden
  - 0-5 dB Standort A
  - 25 dB Standort B
- Große Streuung für einzelne Gebäude möglich
  - 2-24 dB Standort F

## Unsicherheit der Methode

- Mapping zu passenden Outdoor-Messung nicht immer perfekt

➤ **Auswirkung von Gebäudedämmung kann signifikant sein**

➤ **Herausforderung für LoRa Netzwerk Betreiber**



# Abdeckung des Stadtgebietes

Oder: Wie viele Gateways brauche ich wirklich?

---

## Hohe Dichte an Gateways

- Gut für Redundanz und Signalstärken
- Erlaubt Indoor Use-Cases
- Bedeutet Kosten, Wartung und Pflege
- Benötigt entsprechend viele Installationsstandorte

## Wie viele Gateways sind nötig um das Stadtgebiet abzudecken?

## Welche Standorte sind besonders wichtig?

## Idee: Wie verändert sich die Abdeckung, wenn schrittweise Gateways entfernt werden?

- Für jede Anzahl an Gateways ergibt sich eine
  - Minimale Abdeckung (die wichtigsten Gateways wurden entfernt)
  - Maximale Abdeckung (die unwichtigsten Gateways wurden entfernt)
- $2^{64}$  Möglichkeiten für über 300.000 Messpunkte

## Algorithmus zur Reduktion der Komplexität

- 50m x 50m Kacheln über das Stadtgebiet
- Mapping aller Messpunkte in das Raster
- Sobald ein Messpunkt durch Entfernen eines Gateways nicht mehr erreichbar ist, wird das entsprechende Raster nicht mehr abgedeckt

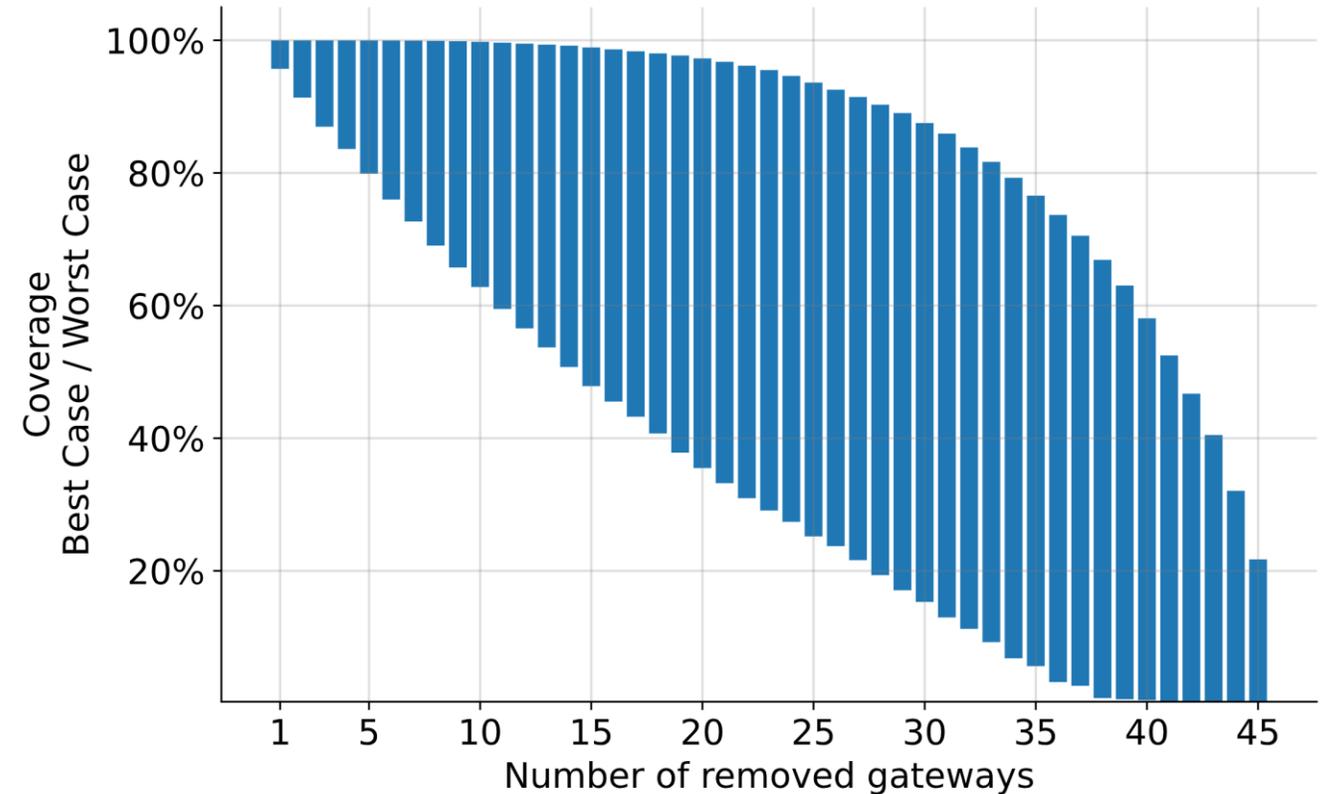
# Abdeckung des Stadtgebietes

Oder: Wie viele Gateways brauche ich wirklich?

## Ergebnis

- Keine Überraschung: Abdeckung sinkt wenn Gateways entfernt werden
- Allerdings: Es hängt stark davon ab welche Teilmenge von Gateways entfernt wird
  - Bei 20 entfernten Gateways, Abdeckung von
    - 97% im Best-Case
    - 38% im Worst-Case
  - 80% Abdeckung mit nur 13 der 46 Gateways möglich

➤ **Auswahl der Gateway-Standorte von großer Bedeutung**



# Zusammenfassung

Oder: Was lernt man von der Messung des LoRaWAN Netzes der SWO?

---

## **Vertrauen in die Messdaten ist gut, Kontrolle ist besser**

- Verifikation der Messmethode immer nötig

## **Viele Gateways helfen viel**

- Hohe Redundanz, gute Signalstärke
- Kleine Zellen erlauben besseren SF und fördert dadurch zusätzliche Verschlüsselung
- Ermöglicht Indoor Use-Cases

## **Gebäudedämpfungen sind schwierig vorherzusagen**

- Funkausbreitung ist kompliziert
- Gute Modelle wichtig für die Planung von Netzen

## **Augen auf bei der Wahl der Gateway-Standorte**

- Gute Lage kann bereits eine hohe Abdeckung ermöglichen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Kontakt

---

**Thorsten Horstmann**  
Geschäftsbereich Cyber Analysis and Defense  
[thorsten.horstmann@fkie.fraunhofer.de](mailto:thorsten.horstmann@fkie.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Institut für Kommunikation,  
Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
Fraunhoferstr. 20 | 53343 Wachtberg

[www.fkie.fraunhofer.de](http://www.fkie.fraunhofer.de)

**Simon Weckmann**  
IoT & Urban Data  
[simon.weckmann@swo-netz.de](mailto:simon.weckmann@swo-netz.de)

SWO Netz GmbH  
Alte Poststraße 9  
49074 Osnabrück

[www.swo-netz.de](http://www.swo-netz.de)