



Eawag:  
Swiss Federal Institute of Aquatic  
Science and Technology

**eawag**  
aquatic research ooo

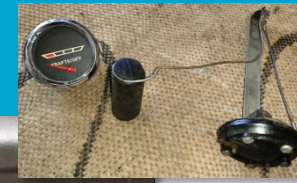
# Langzeitüberwachung in Entwässerungssystemen mittels Niedrigenergiefunk

Frank Blumensaat, Christian Ebi, et al. (Eawag & ETH Zürich)

AQUA URBANICA 2017 | 3. und 4. Juli 2017 | Graz



# Systembewirtschaftung ‚Tank‘



eawag  
aquatic research



Problem:  
unzuverlässige,  
ungenau oder  
keine (!)  
Information

Lösung#1: Kontrolle (Redundanz)



Lösung#2: Reserve



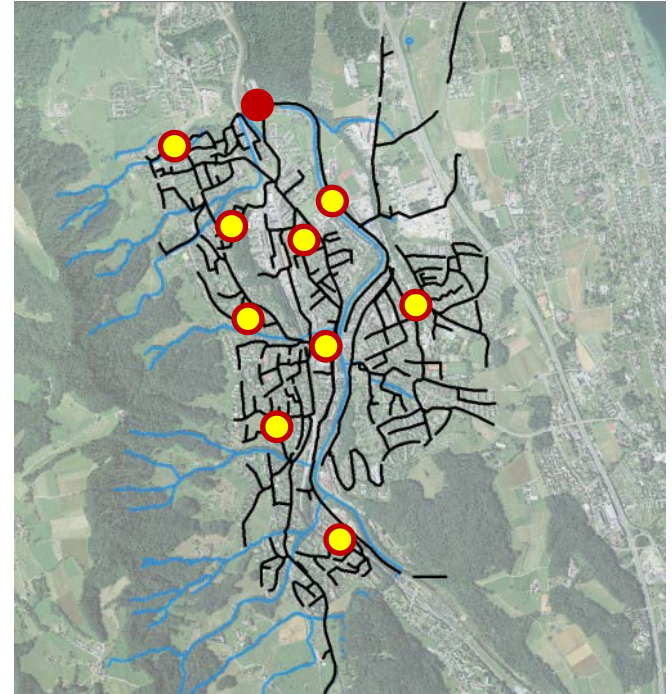
- Sicherheit ☒
- ineffizient ☐
- wenig komfortabel ☐



- Nur etwa 20-30% aller Regenbecken in der Schweiz messtechnisch überwacht.
- Aufzeichnungen werden nur selten analysiert.
- USA: empfindliche Strafen der EPA für Betreiber aufgrund unkontrollierter CSOs\* (Baltimore, Pittsburgh, New Orleans, San Diego,...)
- Modellstudien nur punktuell verifiziert...

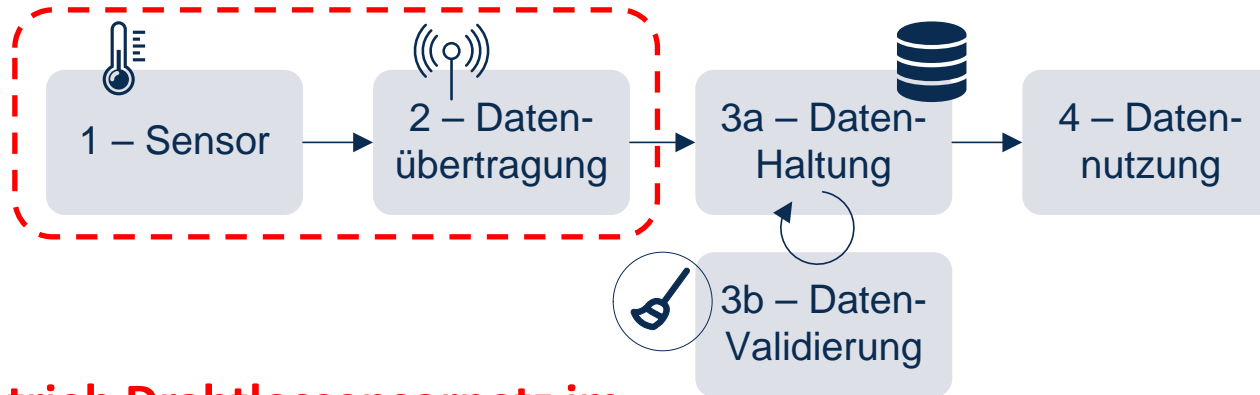
- Modellstrukturfehler !?

- (räumlich verteilte)  
Messungen sind  
aufwendig und teuer...



\*[www.governing.com/topics/energy-env/Cities-Sewer-Plunge.html](http://www.governing.com/topics/energy-env/Cities-Sewer-Plunge.html)

# Eignet sich Niedrigenergiefunk (LPWAN) für eine evidenzbasierte Kanalnetzbewirtschaftung ??



**1 Jahr Betrieb Drahtlossensornetz im Vollmaßstab – ‘Proof of Concept’**

## Randbedingungen

- ...
- unwirtschaftlich, gesundheitsgefährdend
- im Untergrund, öffentlicher Raum
- zeitlich hohe Dynamik

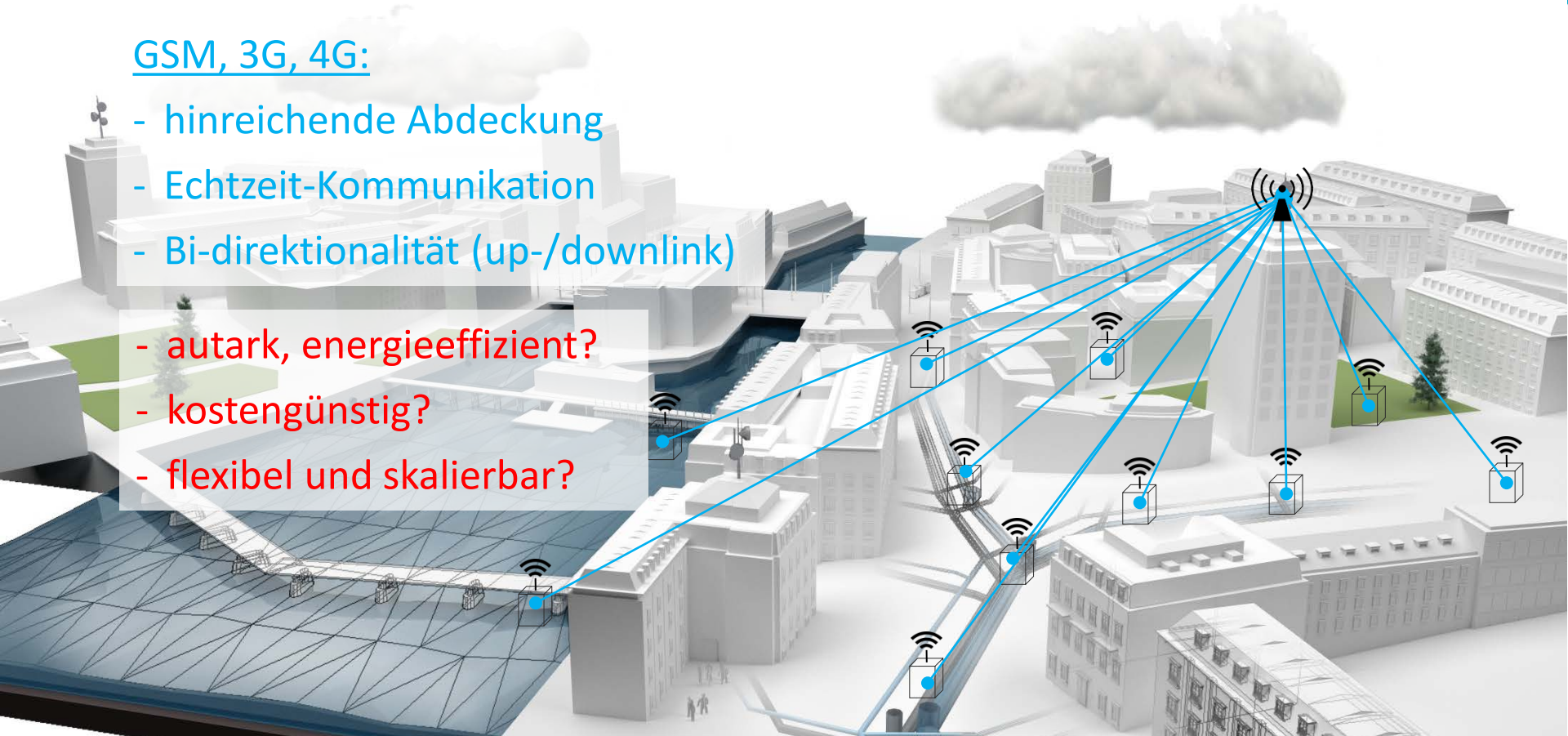
## Anforderungen

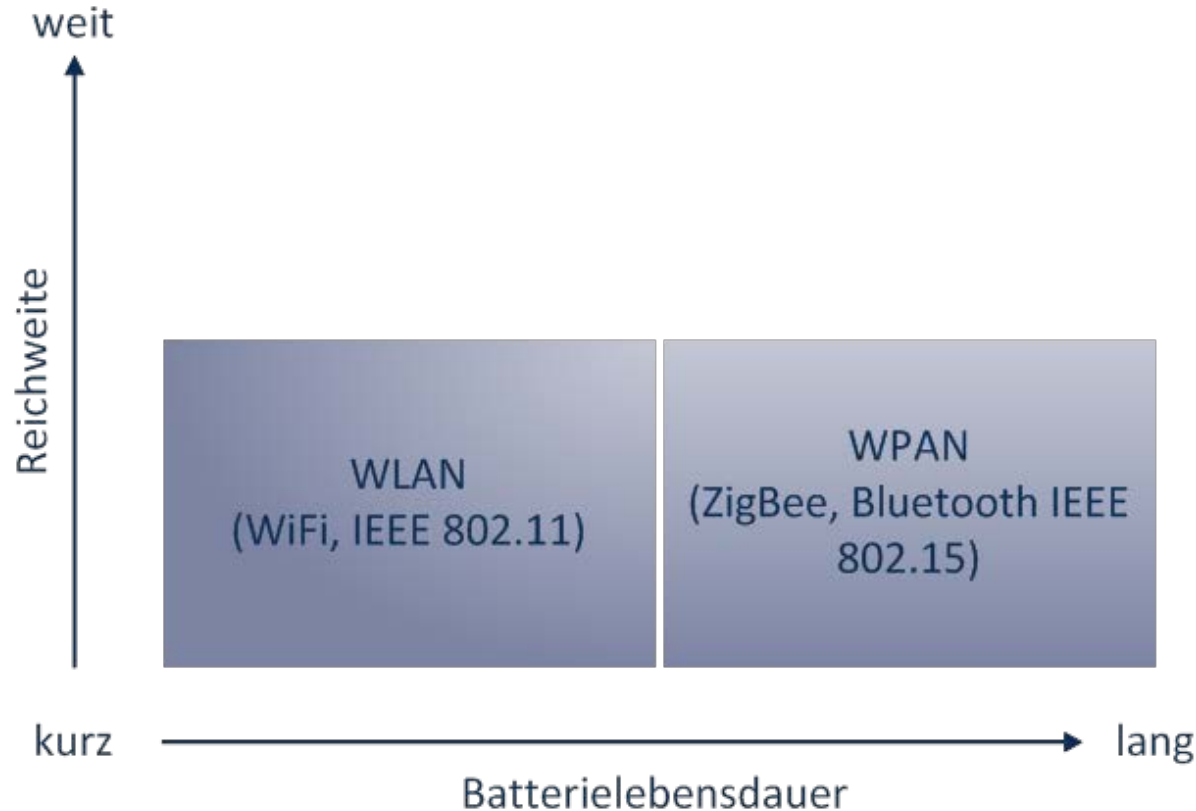
- räumlich differenziert (Netz)
- quasi-kontinuierlich
- wartungsarm (energieeffizient)
- kostengünstig
- flexibel einsetzbar
- ...



## GSM, 3G, 4G:

- hinreichende Abdeckung
  - Echtzeit-Kommunikation
  - Bi-direktionalität (up-/downlink)
- autark, energieeffizient?
  - kostengünstig?
  - flexibel und skalierbar?

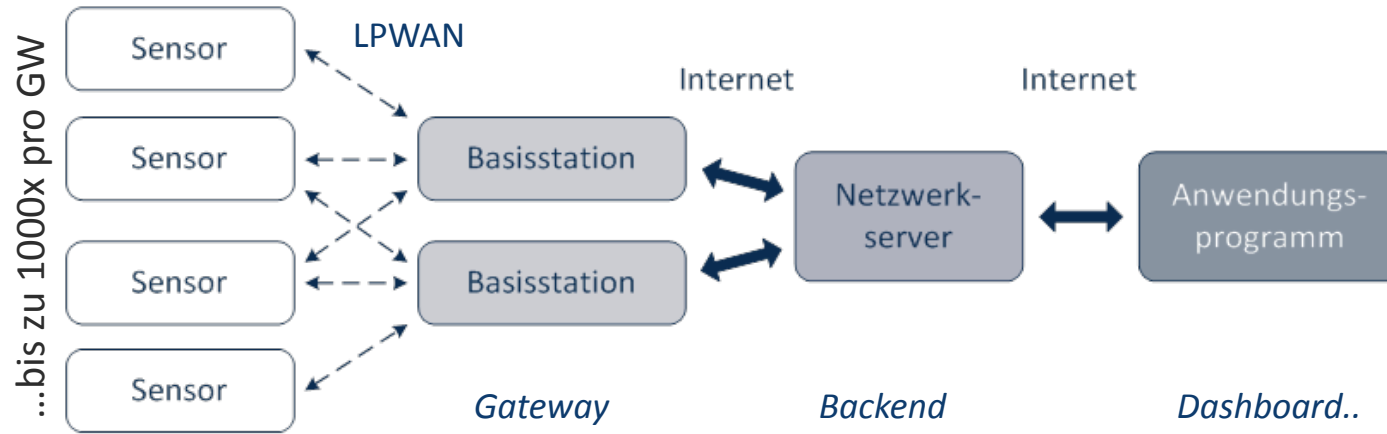




## Niedrigenergiefunk (LPWAN)

- Kommunikation für das *'Internet der Dinge'*
- Frequenzband im Sub-Gigahertz-Bereich (868/916 MHz)
- Reichweiten: 2...10 km mit Gebäudedurchdringung
- **Skalierbarkeit**
- **Niedrigenergie:** 10nW-25mW (vgl. Mobilfunk: ~2 W)





- **nicht-proprietärer Funkstandard**
- nicht-lizenziertes Frequenzband (868 MHz)
- Sternförmige Netztopologie
- Sichere **Verschlüsselung** AES-128 (individueller Hardware-Key)
- wachsende Community (28 Länder)
- **Verfügbarkeit Ende 2015**
- **Aber: beschränkte Übertragungskapazität (bytes)**
- **Durchsatzbeschränkung (Duty-Cycle < 1%)**



# Feldlabor ‚UWO‘ in *Fehraltorf* (Kt. Zürich)

- 6500 Einwohner
- 150 ha  $A_{E,k}$
- Mischsystem, 6 CSO
- Gebiet: 3x3 km

- Fremdwasser
- Entlastungsaktivität

## Légende

- Hauptsammelkanäle
- ARA
- Gewässer
- ▴ MW-Entlastung

Weitere Informationen: [www.eawag.ch/uwo](http://www.eawag.ch/uwo)



**Status: Juni 2017**

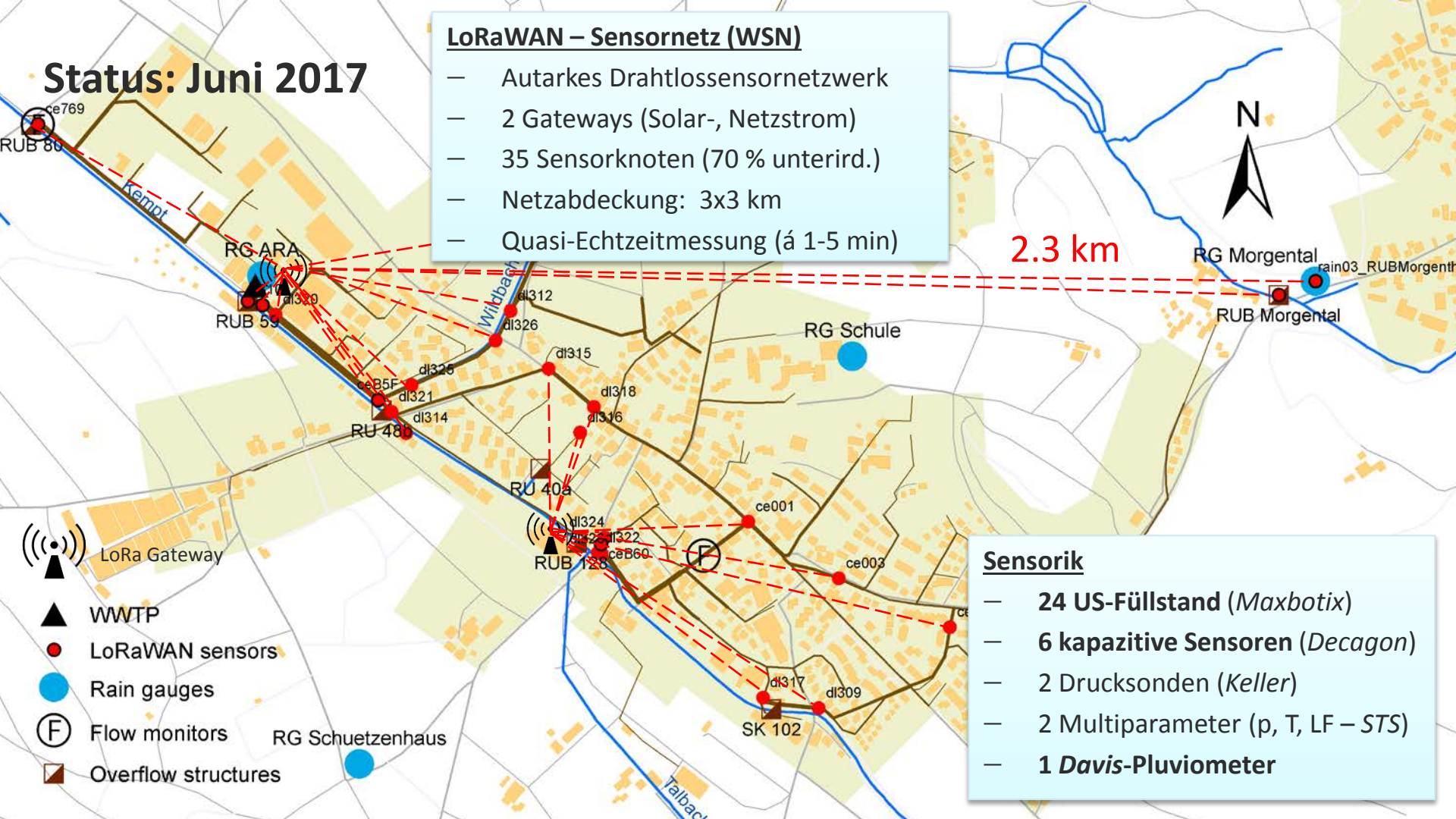
### LoRaWAN – Sensornetz (WSN)

- Autarkes Drahtlossensornetzwerk
- 2 Gateways (Solar-, Netzstrom)
- 35 Sensorknoten (70 % unterird.)
- Netzabdeckung: 3x3 km
- Quasi-Echtzeitmessung (à 1-5 min)

2.3 km

### Sensorik

- 24 US-Füllstand (*Maxbotix*)
- 6 kapazitive Sensoren (*Decagon*)
- 2 Drucksonden (*Keller*)
- 2 Multiparameter (p, T, LF – *STS*)
- 1 *Davis-Pluviometer*





# LoRaWAN - Gateway



# Sensorknoten ,Füllstand‘

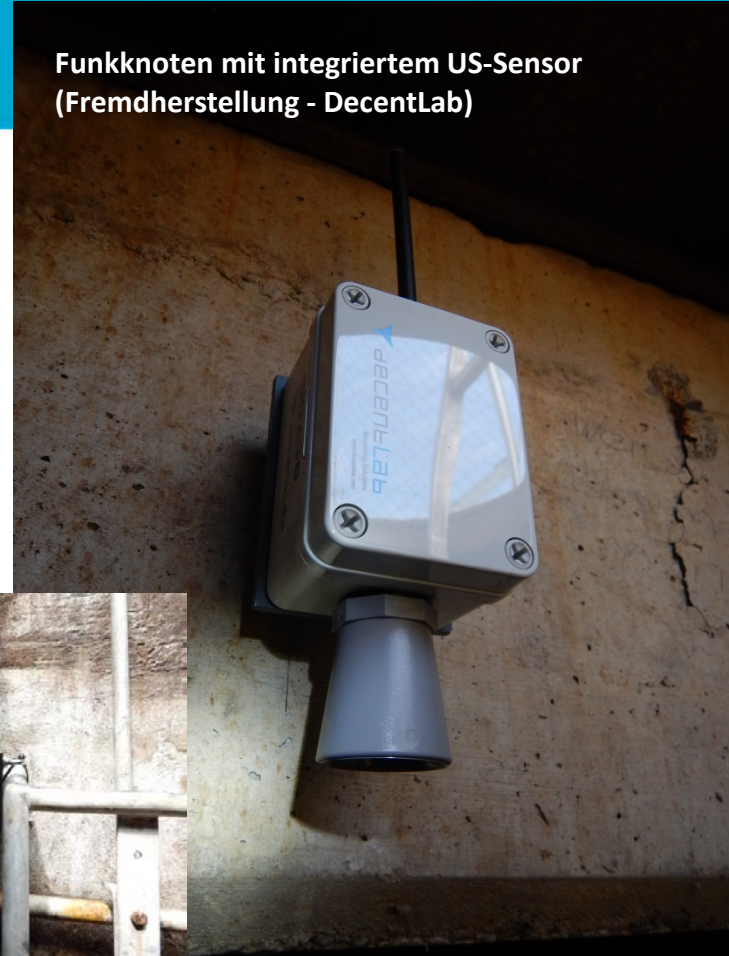
US-Füllstand-Sensor



Funkknoten (Prototyp)



Funkknoten mit integriertem US-Sensor  
(Fremdherstellung - DecentLab)

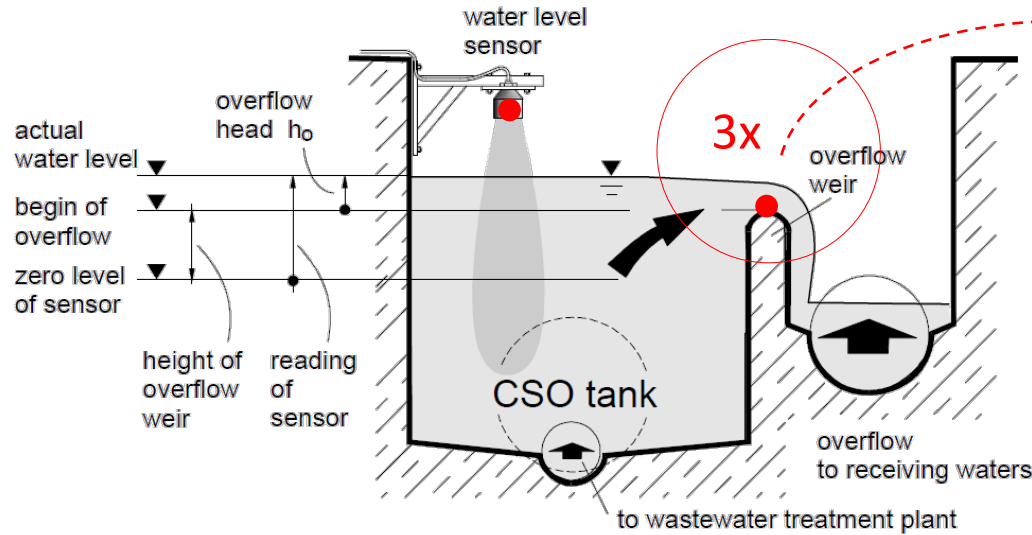




# Wo und wofür kann räumlich differenziertes Monitoring eingesetzt werden?

- **Entlastungsüberwachung**
  - Lokalisierung von Fremdwasseranfall, -quellen
  - Leistungsüberwachung dezentraler Bewirtschaftungsmaßnahmen
  - Identifikation von hydraulischen Engpässen sowie Überflutungsrisiken
  - Erfolgskontrolle -> Akzeptanz ↗
- **Verbesserte Datenbasis für Modellkalibration**
  - ... Echtzeitmonitoring, -steuerung?

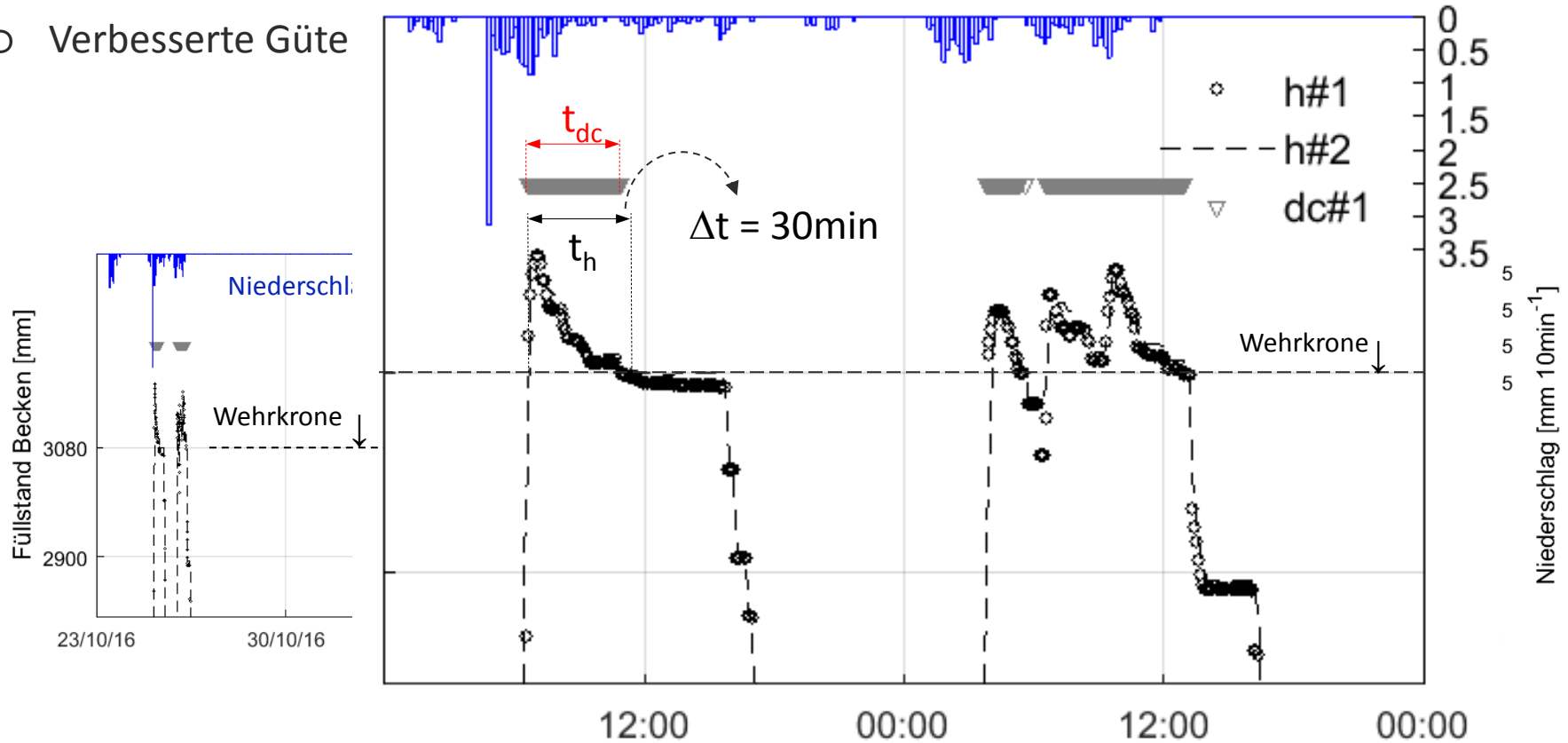
- Verbesserte Güte der Messdaten durch Signalredundanz und –diversität



Kapazitive Sensoren

Skalierbarkeit -> Redundanz!

## ○ Verbesserte Güte



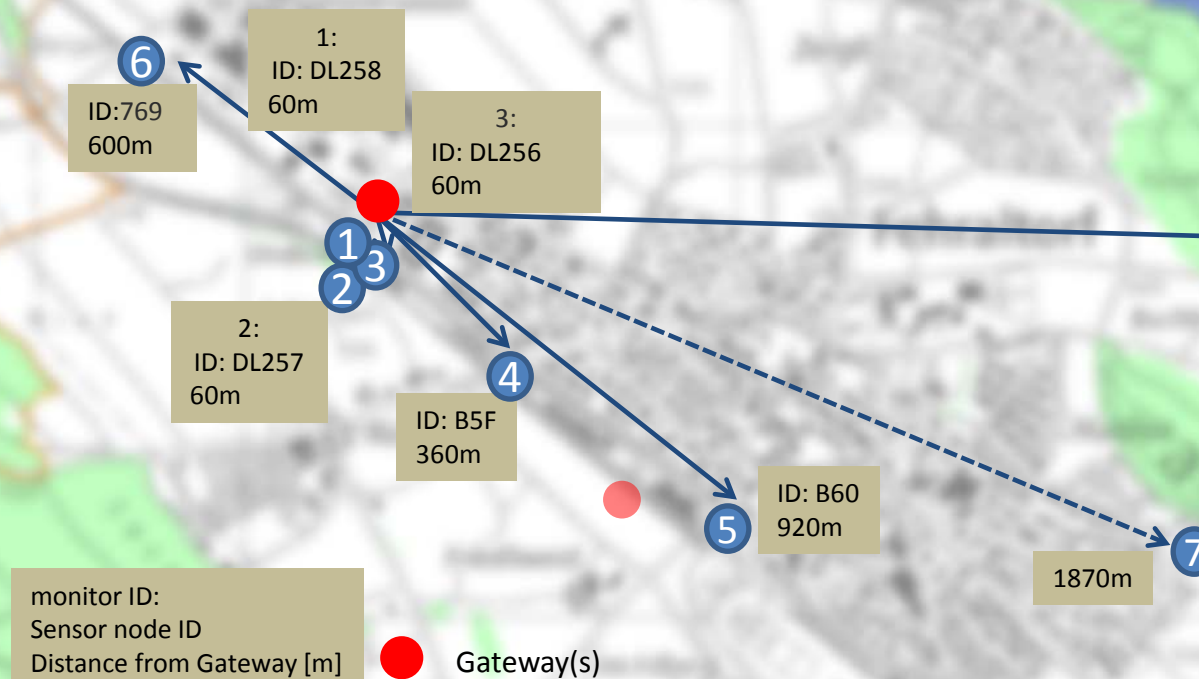
## basierend auf:

- > 1 Jahr Betrieb
- Datenbasis: Mai 2016 – Februar 2017  
insges. 102'240 Betriebsstunden (9 Knoten: 10 Monate, 26 Knoten: 3 Monate)
- 71% der LoRaWAN-Funkknoten unterirdisch implementiert
- Starkregen im Frühsommer 2016, Winterbetrieb 2016/2017



# Funknetzabdeckung, Reichweite

Min. Signalstärke @ RSSI < -120dBm

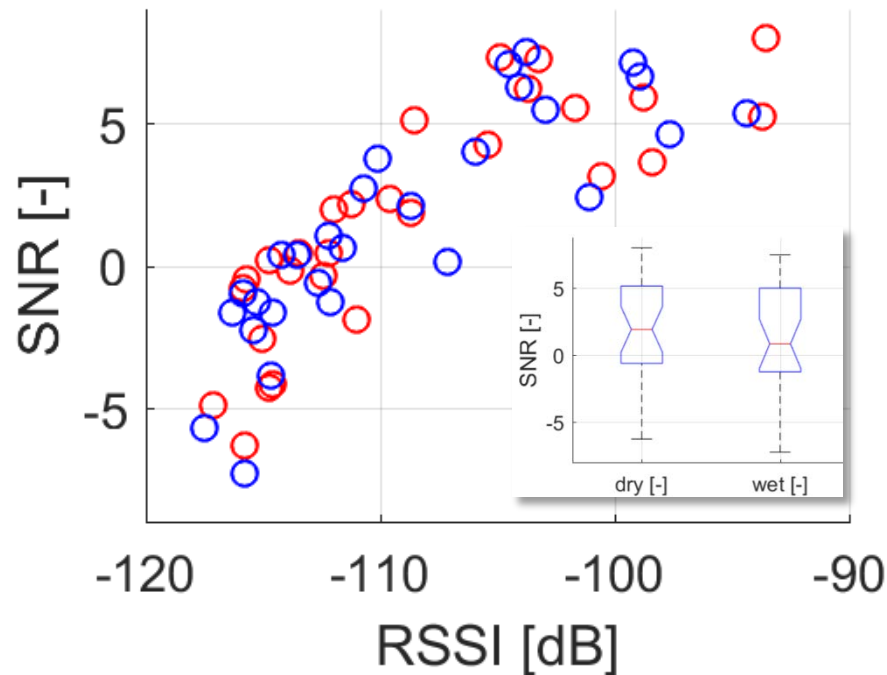
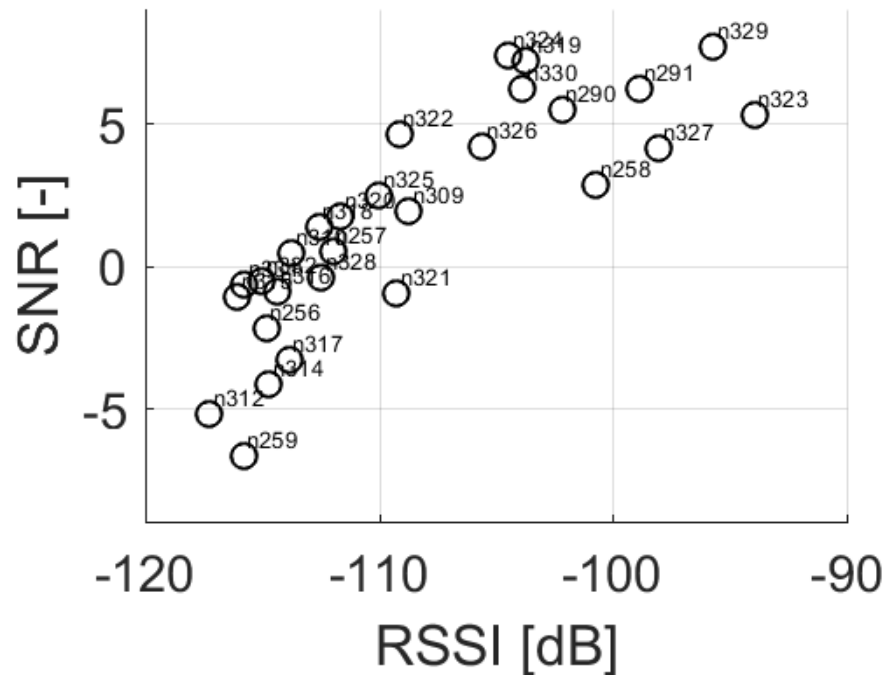


## Netzabdeckung:

- 3x3 km, 2 Gateways
- Geographische Lage (Sicht)
- Bebauungsdichte, Gebäudeabschattungen
- Wettersituation (Regen)?
- @Schacht / @Oberfläche?

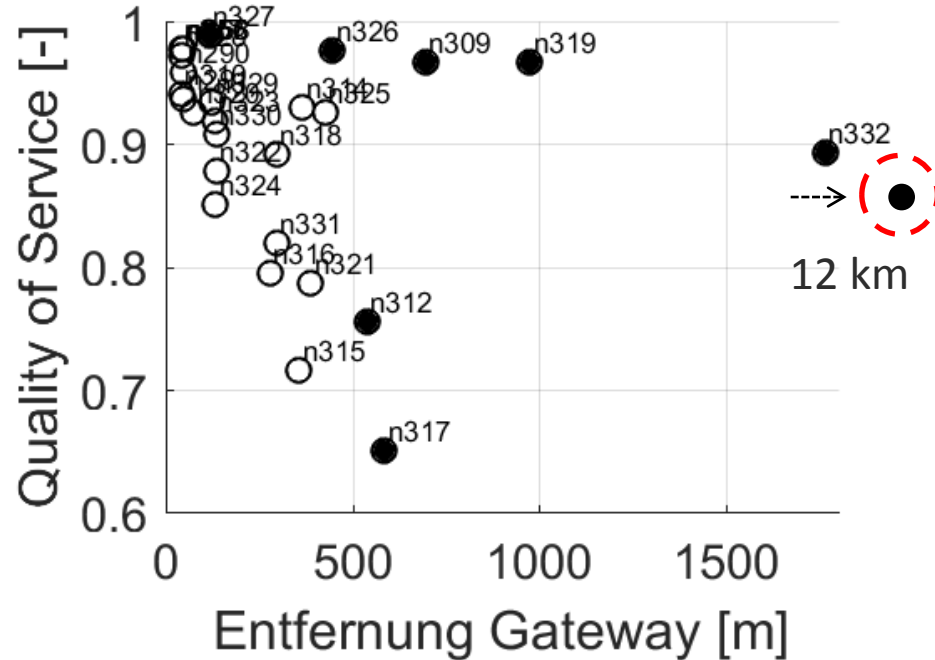
- |                       |                           |                         |   |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---|
| 1 RKB ARA - Spülkippe | 3 RKB ARA - Becken        | 5 HS-Venturi Usterstr.* | 7 Transfer Russikon - Russikerstr./ Veloweg |
| 2 HS - Zulauf ARA     | 4 HS-Schieber Zürichstr.* | 6 Pumpwerk Industrie    | 8 RUB Morgenthal                            |

# Signalstärke vs. SNR – Regenwetter



## Übertragungszuverlässigkeit

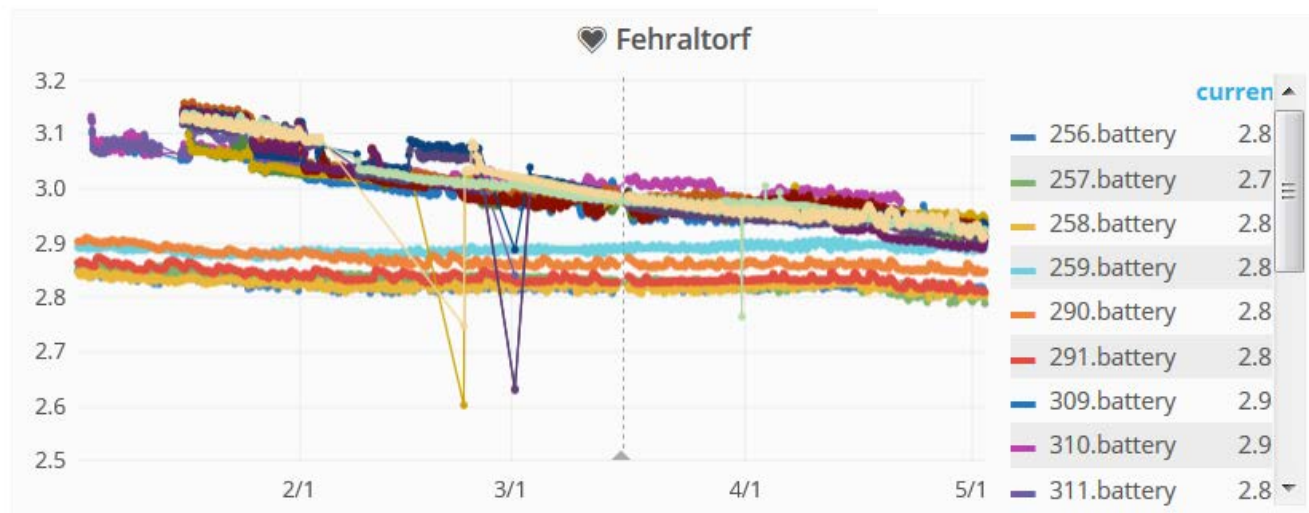
- ‘Quality of Service’: Ø 88 %
- Übertragungszuverlässigkeit nimmt mit Entfernung vom GW ab
- überirdische Knotenposition (Oberfläche) nicht zwingend Garant für gute Übertragung



# Standzeit, Batterlebensdauer



Battery alerts ▾



## Energieverbrauch:

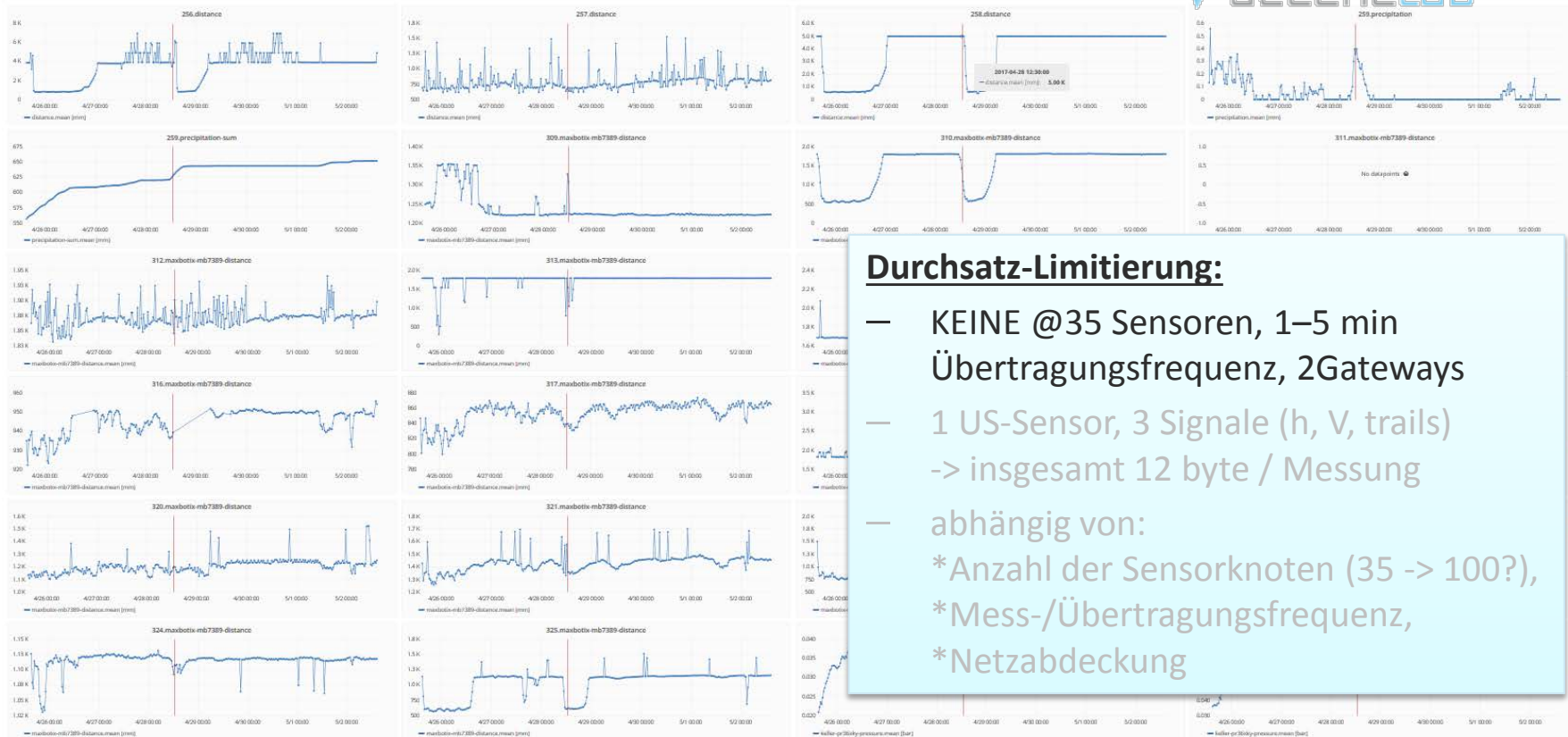
- rechnerische Standzeit mit zwei D-Zellen (18'000 mAh): 6,2 Jahre
- konservative Schätzung mit LiPo-Akkus (6'400 mAh): 2 Jahre
- ABER: abh. von Netzabdeckung, Funkfrequenz, Messfrequenz, Daten



# Zeitsynchronisation, Datendurchsatz

Device: **Freiburger** Sensor: **bar** **mm** Channel: **AE** Aggregation: **mean** Aggregation interval: **auto**

eawag  
aquatic research



Infrastructure and services by



decentLab

Infrastructure and services by  
at BCRN Lab

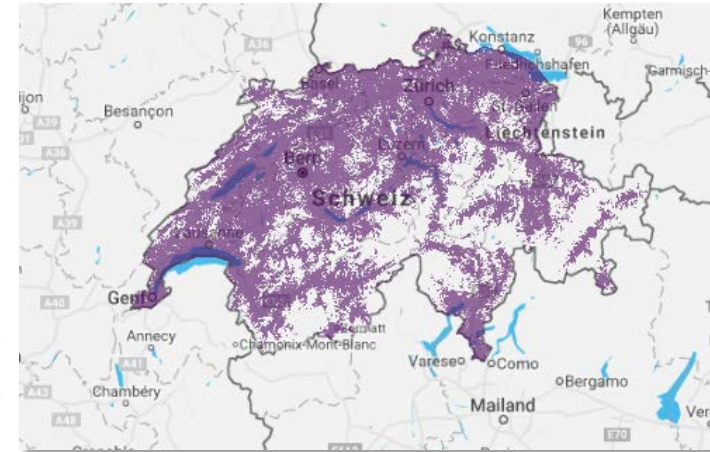
## Durchsatz-Limitierung:

- KEINE @35 Sensoren, 1–5 min Übertragungsfrequenz, 2 Gateways
- 1 US-Sensor, 3 Signale (h, V, trails)  
-> insgesamt 12 byte / Messung
- abhängig von:
  - \* Anzahl der Sensorknoten (35 -> 100?),
  - \* Mess-/Übertragungsfrequenz,
  - \* Netzabdeckung

- > 365 Tage autarkes LP-WSN als ‚*Proof of Concept*‘ im Vollmaßstab – **es geht!**
- komplementäre Systemüberwachung mit nahezu beliebiger **Skalierbarkeit** & hoher **Energieeffizienz**
- **‚schmale‘ Signale** (0/1 - Informationen) sehr gut integrierbar
- Kosten für Füllstandmessung: \* CHF 135 a<sup>-1</sup>
- Nutzung als privates Netz, aber auch eingebunden in **öffentliche verfügbare Funknetzinfrastruktur** (z.B. Santander, Rotterdam, Zürich, Netherlands, Switzerland)

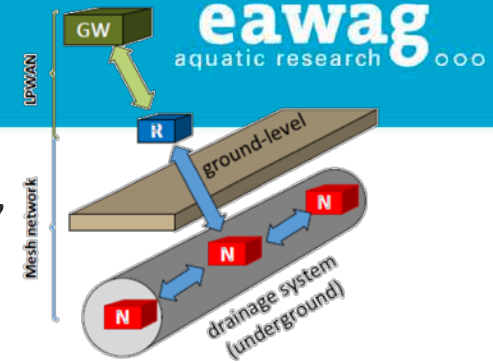
\*überschlägige Schätzung für Material (5a Abschreibung) und externen Backend-Service.

<http://lpn.swisscom.ch/>

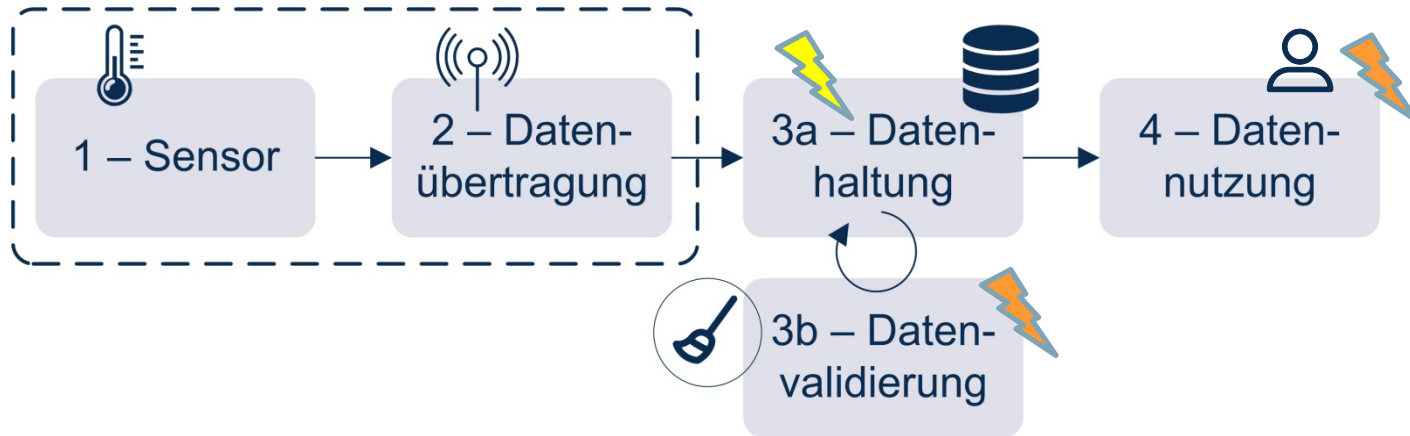


# Herausforderungen & Ausblick

*LoRaMesh*



- Funk: Netzarchitektur, bessere Abdeckung im Untergrund, Bi-direktionalität (Repeater, Vermaschung)
- Rush: Schnellebigkeit der technologischen Entwicklungen (LoRa, NB-IoT, ...?)
- Daten: Methoden zum Datenhaltung, -verarbeitung, -nutzung



## Gemeinde Fehraltorf

## Decentlab GmbH

(Ausrüstungsspezialist für  
Echtzeitmonitoring)

## LORIOT.io

(IoT Software Entwickler,  
LoRaWAN-Spezialist)

## Simon Dicht

(Eawag-Feldtechniker und  
Sensortechnik-Experte)



GEMEINDE FEHRALTORF



decentlab



LORIOT

