

# **Schliessen einer Lücke: Messen von Nahfeldern direkt am Körper**

**FSM Science Brunch 35  
2. Juni 2023**

**Marco Zahner  
Fields at Work GmbH, Zürich**

# Einführung

Welche Quellen tragen zur Exposition gegenüber RF-EMF bei?

## Fernfeld-Quellen



### Variablen:

- Abstand zur Quelle
- Ausbreitungsbedingungen
- Adaptivität der Antenne
- Auslastung der Basisstation

### Fernfelder:

- Hauptsächlich ortsfeste Anlagen
- Hohe Sendeleistung
- Grosser Abstand zur Quelle
- Ganzkörper-Exposition

# Einführung

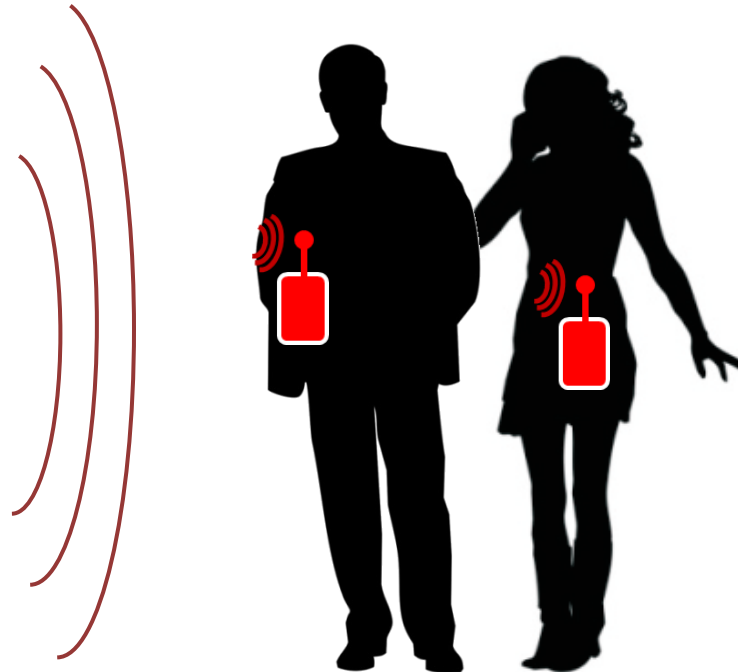
Welche Quellen tragen zur Exposition gegenüber RF-EMF bei?

## Fernfeld-Quellen



### Variablen:

- Abstand zur Quelle
- Ausbreitungsbedingungen
- Adaptivität der Antenne
- Auslastung der Basisstation



### Fernfelder:

- Hauptsächlich ortsfeste Anlagen
  - Hohe Sendeleistung
  - Grosser Abstand zur Quelle
  - Ganzkörper-Exposition
- 
- Messmethode: RF-Exposimeter
  - Positionierung des Messgeräts nicht sehr kritisch.

# Einführung

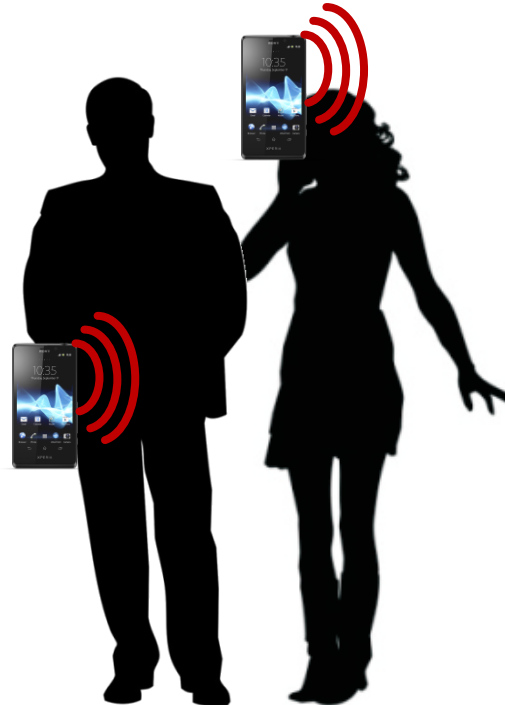
Welche Quellen tragen zur Exposition gegenüber RF-EMF bei?

## Nahfeld-Quellen (Endgeräte)



### Variablen:

- Funks-Standard (3/4/5G, WiFi, Bluetooth)
- Sendeleistung
- Übertragene Datenmenge
- Anzahl und Dauer der Anrufe
- Einstellungen des Endgeräts / Apps
- Position am Körper während der Nutzung
- Anzahl Endgeräte



### Nahfelder:

- Körpernahe Endgeräte
- Niedrige Sendeleistung
- Stark lokalisierte Exposition
- Stark abhängig von der Nutzung

# Einführung

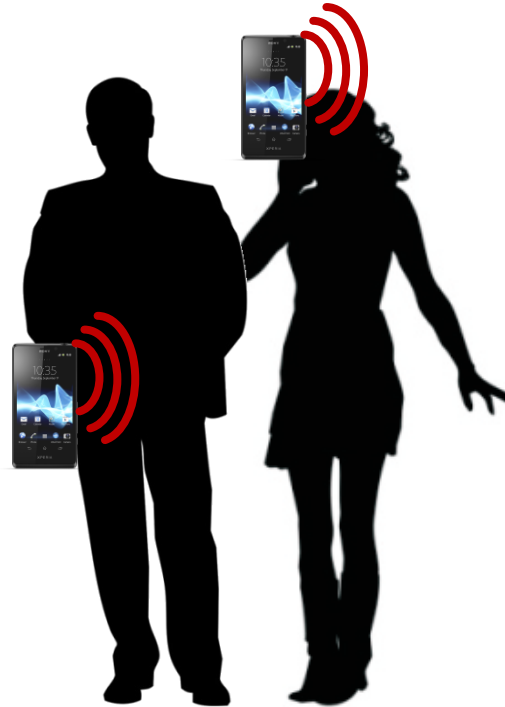
Welche Quellen tragen zur Exposition gegenüber RF-EMF bei?

## Nahfeld-Quellen (Endgeräte)



### Variablen:

- Funks-Standard (3/4/5G, WiFi, Bluetooth)
- Sendeleistung
- Übertragene Datenmenge
- Anzahl und Dauer der Anrufe
- Einstellungen des Endgeräts / Apps
- Position am Körper während der Nutzung
- Anzahl Endgeräte



### Nahfelder:

- Körpernahe Endgeräte
- Niedrige Sendeleistung
- Stark lokalisierte Exposition
- Stark abhängig von der Nutzung
  
- **Messmethode: ?**

**Kann man die Nahfeld-Beiträge quantitativ bewerten und mit der Fernfeld-Exposition vergleichen?**

- Nahfeld-Quellen stellen einen relevanten Beitrag zur Gesamt-Exposition dar
  - Geschätzter Anteil bis zu 90% und mehr je nach Nutzung und Technologie
- Daten sind wichtig für die Information der Bevölkerung
  - Anteil der «externen» und durch eigene Geräte verursachten Exposition
  - Validierung der Empfehlungen zur Reduktion der eigenen Exposition
  - Zeitlicher Verlauf der Sendeaktivität je nach Nutzung und Empfangsbedingungen
  - Untersuchung der Effizienz moderner Funk-Standards (Exposition vs. übertragene Datenmenge)
- Kaum Erfahrungswerte bezüglich Stärke und zeitlicher Verteilung der Sendeleistung der Endgeräte unter realistischen Alltagsbedingungen
  - Abschätzungen der NF-Exposition beruhen meist auf indirekten Angaben
  - SAR-Werte der Datenblätter sind ein standardisiertes (aber praxisfernes) Worstcase-Szenario

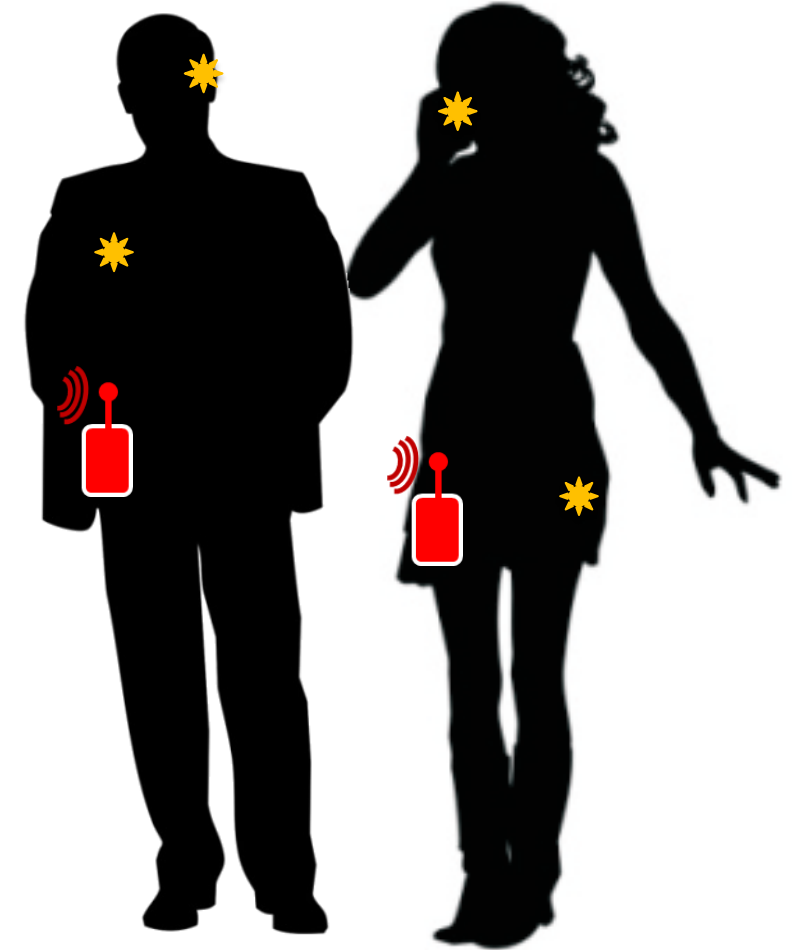
# Die Idee

- «On-body» E-Feld Messanordnung
  - Wird direkt auf die Haut an mehreren exponierten Stellen befestigt (Kopf, Brust, Hände etc.)
  - Regelmässige Breitbandmessungen des lokal vorherrschenden elektrisches Felds
  - Fokus: Kompaktheit, breiter Frequenzbereich



# Die Idee

- «On-body» E-Feld Messanordnung
  - Wird direkt auf die Haut an mehreren exponierten Stellen befestigt (Kopf, Brust, Hände etc.)
  - Regelmässige Breitbandmessungen des lokal vorherrschenden elektrisches Felds
  - Fokus: Kompaktheit, breiter Frequenzbereich
- Ergänzung durch Exposimeter-Messung (ExpoM-RF)
  - Messung Fernfeld-Beiträge (hohe Empfindlichkeit & Dynamik)
  - Frequenzselektivität: Zusatz-Information zur Differenzierung und Klassifizierung der Fernfeld- und Nahfeld-Beiträge
  - GPS Lokalisierung





- Mechanisch
  - Möglichst kleine und leichte Bauweise; minimale Beeinträchtigung der Testpersonen
  - Direkt am Körper befestigbar -> Flexibles «Pflaster»
  - Geeignet für die Befestigung an verschiedenen Stellen des Körper
  - Mehrere Stichproben pro Mess-Stelle
- Technisch
  - Möglichst kleiner Energiebedarf für hohe Laufzeit bei minimalem Gewicht
  - Messbereich Frequenz: Mindestens 700 MHz – 6 GHz (Mobilfunk & WiFi)
  - Messung des E-Felds, das senkrecht zur Haut steht
  - Genügend hohe Erfassungs-Rate (mind. 1 Messung pro Sekunde)
  - Datenlogger und Speicher für >100k Messungen

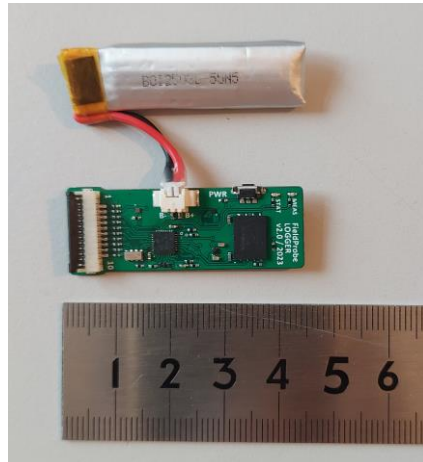
# Umsetzung Mess-System (1)

Funktionsmuster mit zwei Messpunkten am Kopf

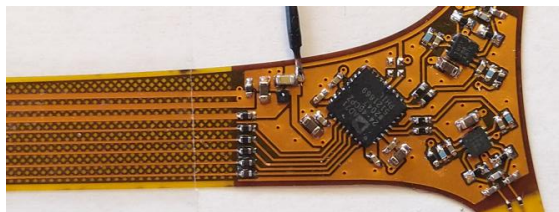


# Umsetzung Mess-System (1)

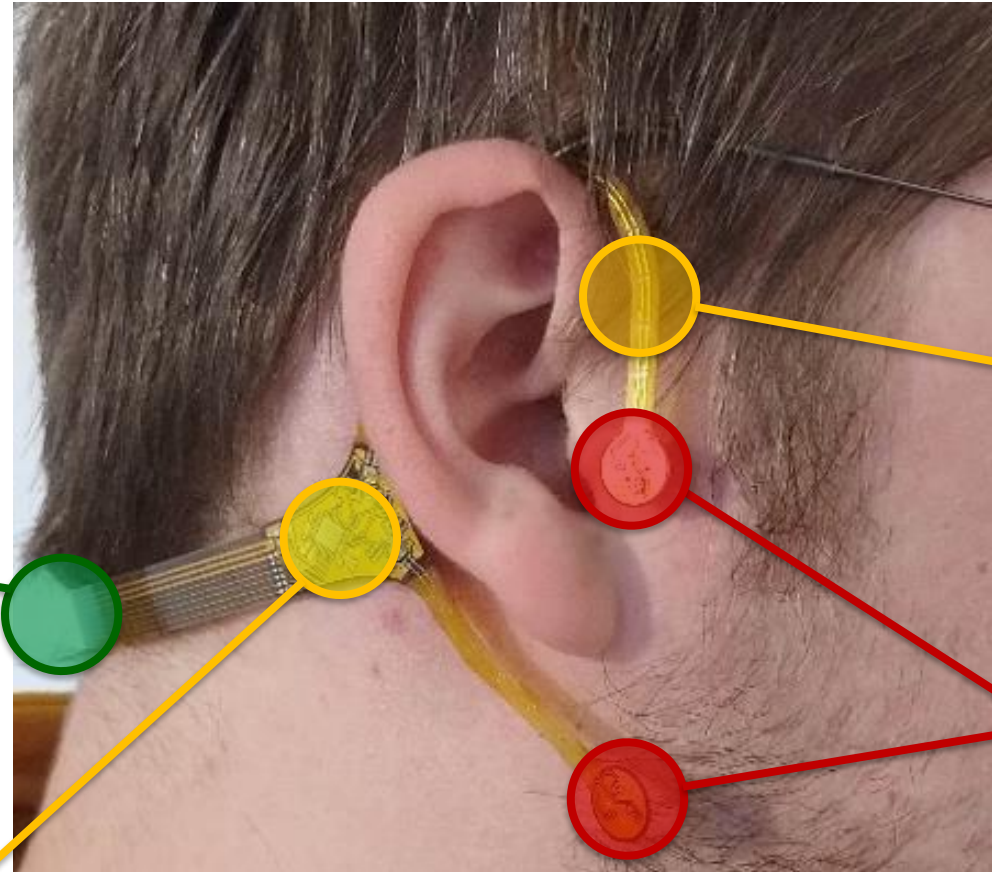
Funktionsmuster mit zwei Messpunkten am Kopf



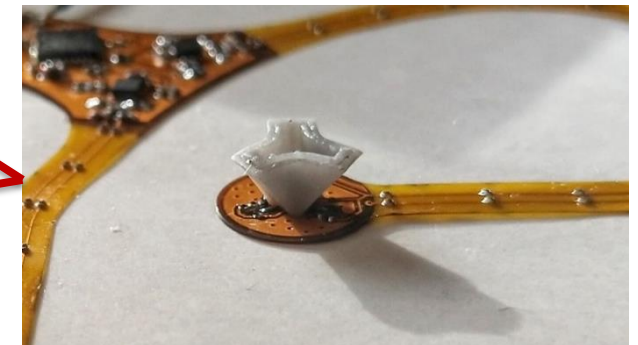
**Datenlogger +  
Akku**



**Verstärkung und  
Signalverarbeitung**



**Hochimpedanz-  
Messleitung**

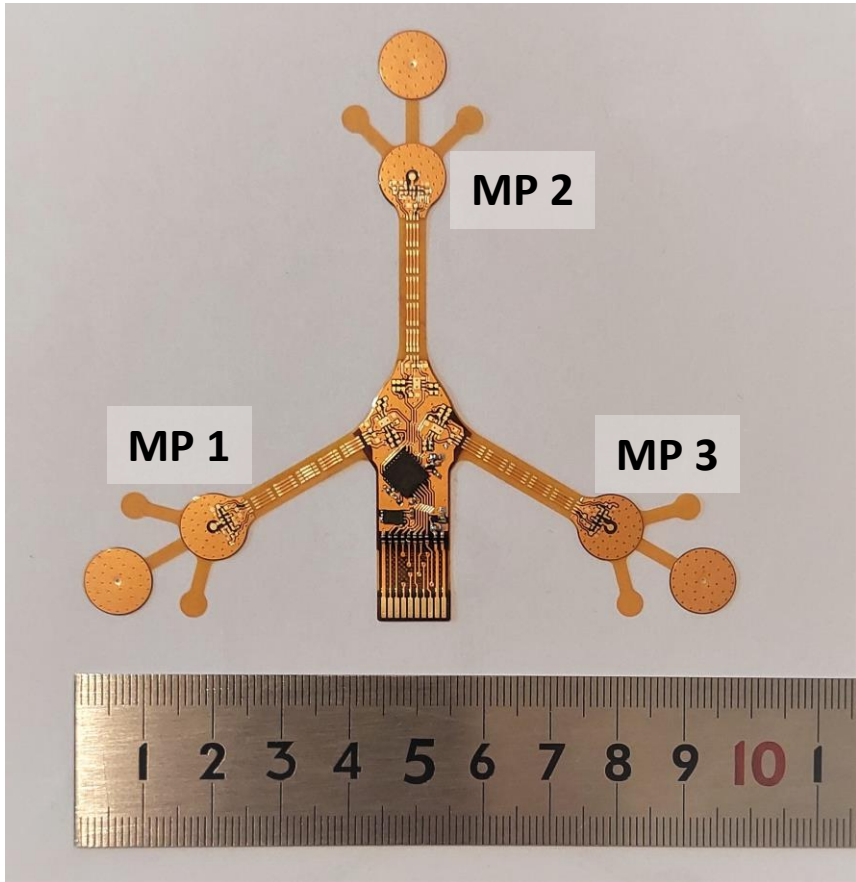


**Feld-Sonde (Messpunkt)**



# Umsetzung Mess-System (2)

«Mehrzweck» - Anordnung mit 3 Messpunkten



Befestigung am Kopf  
(inkl. Datenlogger)

Befestigung am Oberarm  
(inkl. Datenlogger)



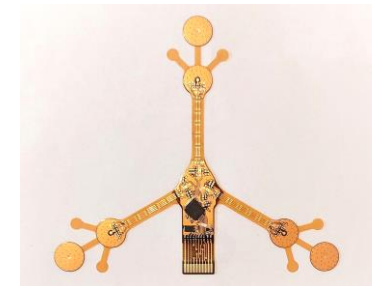
# Mess-System: Stand Realisierung

## Technische Daten

<b>Messintervall</b>	1 - 10 Messungen pro Sekunde
<b>Anzahl Messpunkte</b>	bis zu 3 Kanäle pro Datenlogger
<b>Detektor</b>	Breitband E-Feld Detektor (Dioden basiert)
<b>Zeitstempel</b>	Temperaturkompensierte Echtzeituhr ( $\pm 3$ ppm)
<b>Speicherplatz Datenlogger</b>	>10 Millionen Messungen
<b>Batterie</b>	LiPo Akku, 150 mAh
<b>Laufzeit (Dauermessung)</b>	> 100 Stunden
<b>Gewicht (inkl. Akku)</b>	Ca. 10 g



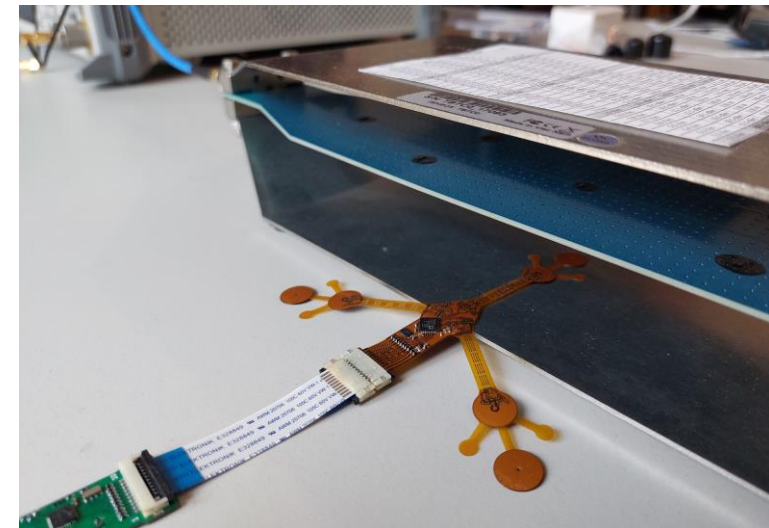
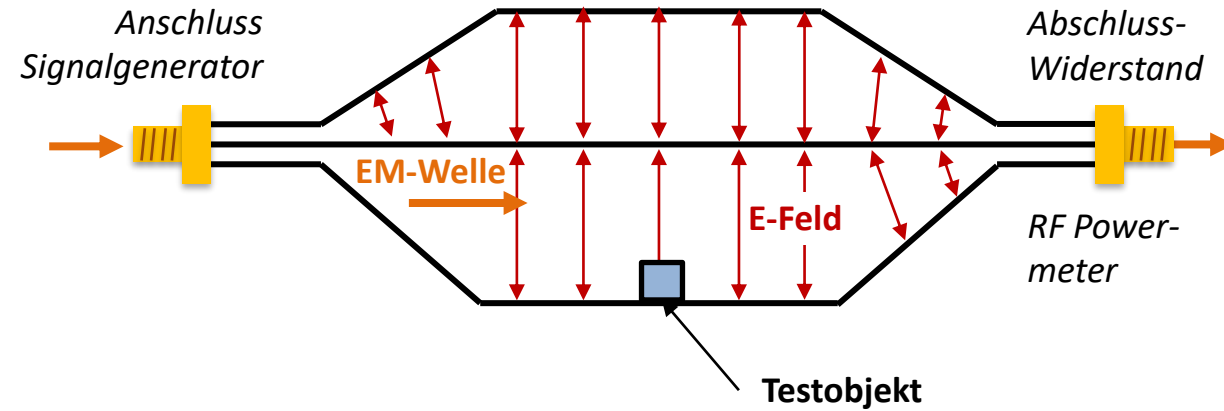
Mess-Anordnungen



Docking-Station

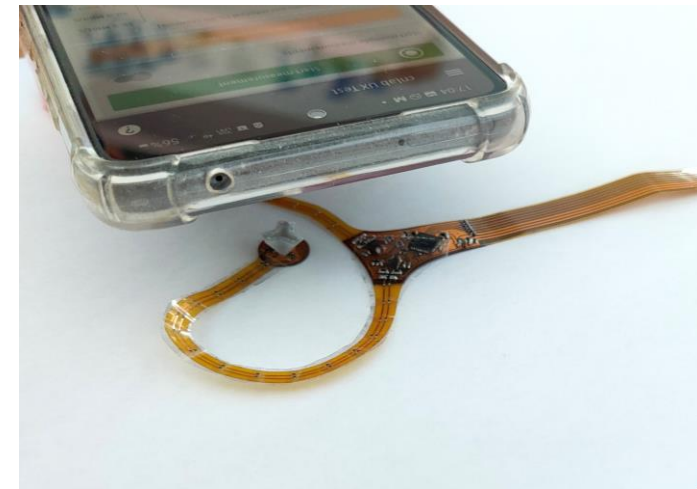
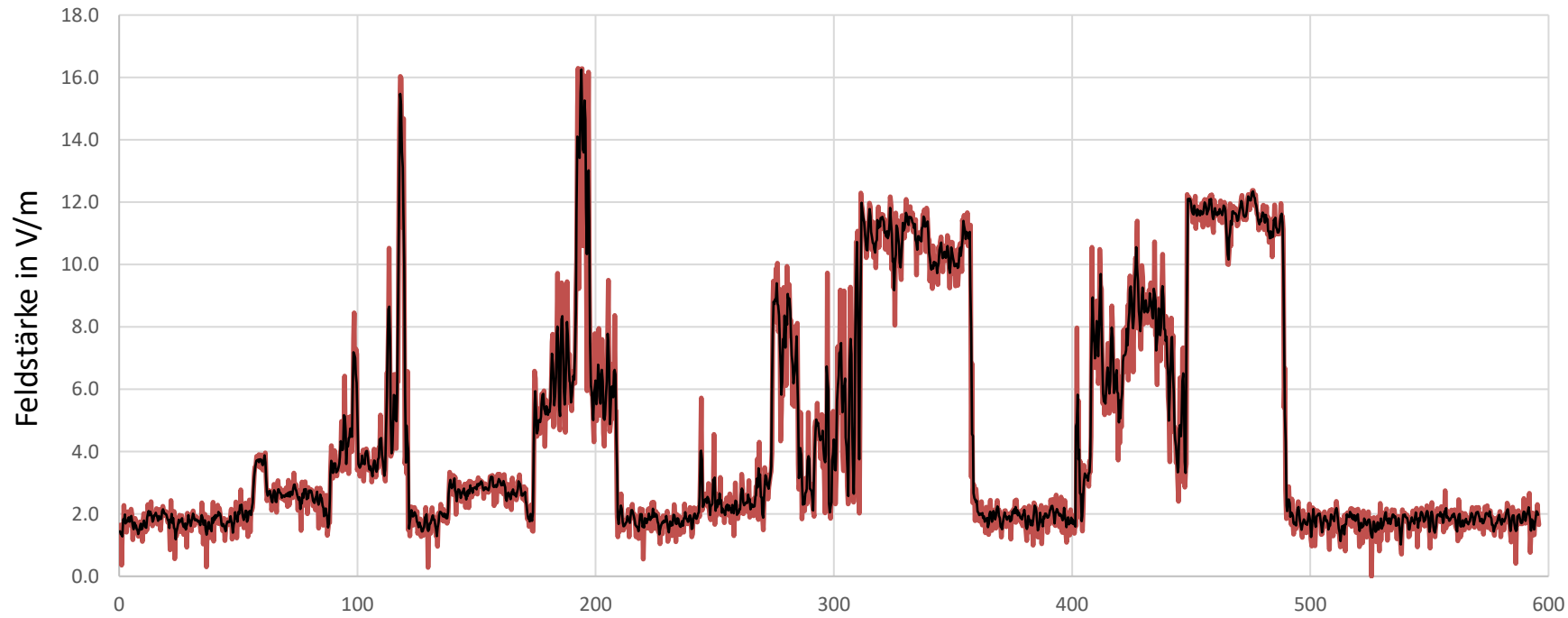
# Kalibrierung der Feldsonde

- TEM-Zelle
  - Prinzip: «aufgeweitete» Koaxialleitung
  - Klar definierte Feldverteilung
  - Feldstärke proportional zur Eingangsleistung
  - Breitbandig (DC bis >5 GHz)



# Beispielmessung

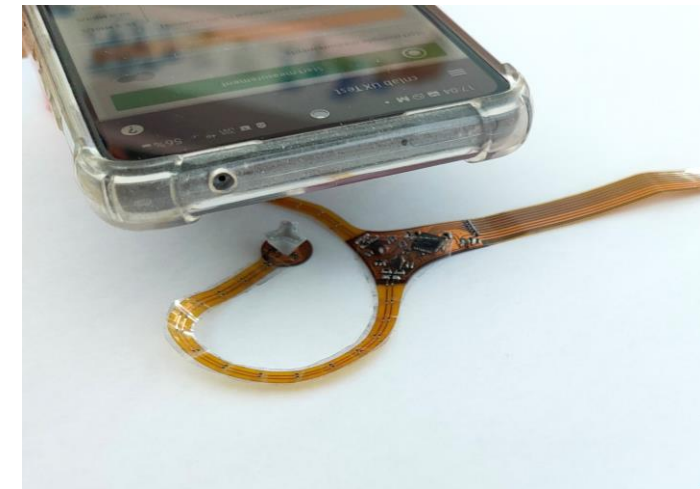
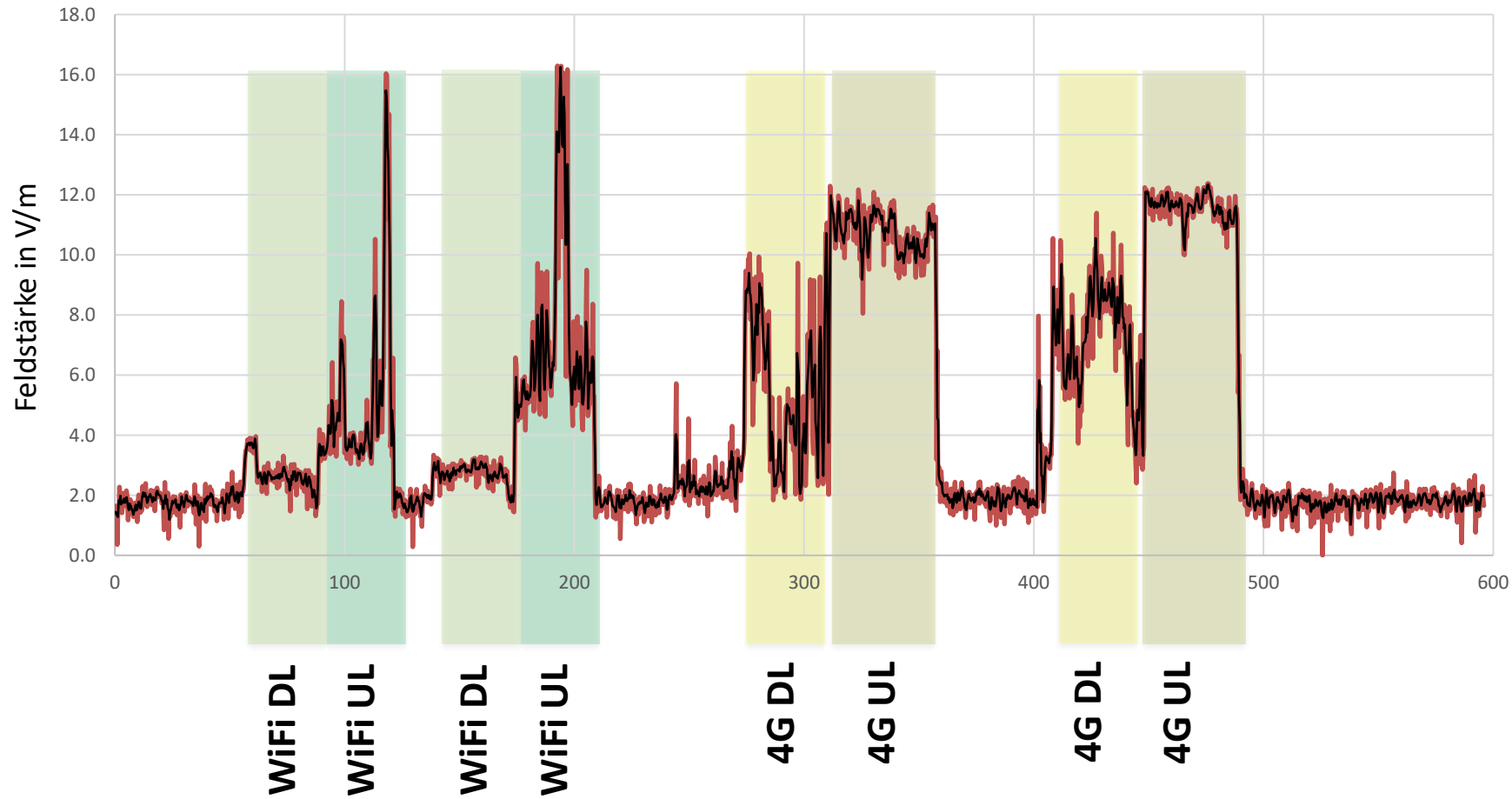
Smartphone: Speedtest-App (Starke Uplink- und Downlink-Aktivität)



Abstand zum Phone: 25 mm

# Beispielmessung

Smartphone: Speedtest-App (Starke Uplink- und Downlink-Aktivität)

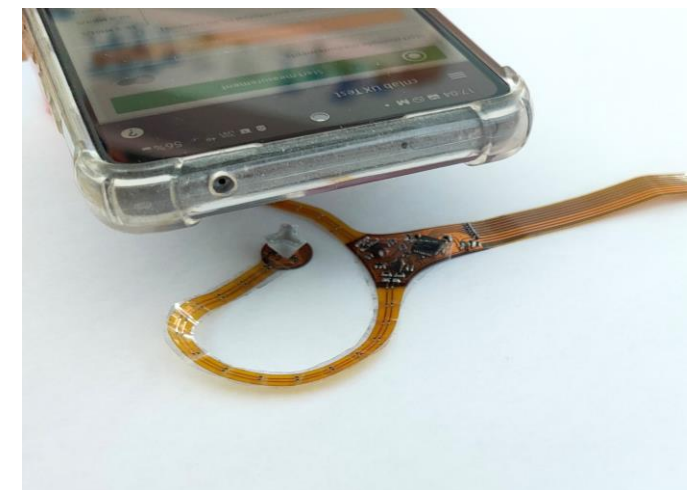
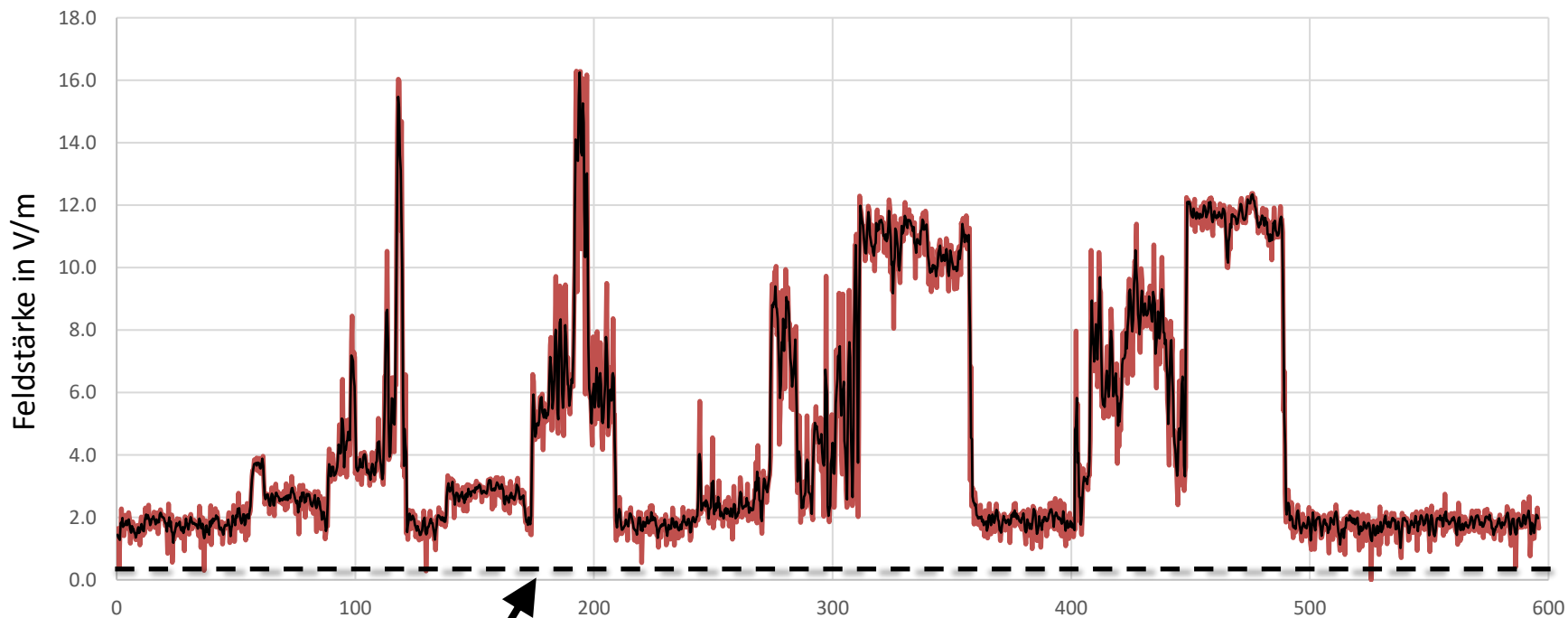


Abstand zum Phone: 25 mm



# Beispielmessung

Smartphone: Speedtest-App (Starke Uplink- und Downlink-Aktivität)



Abstand zum Phone: 25 mm

**Zum Vergleich: Typische durchschnittliche Exposition Fernfeld-Quellen:  $\sim 0.2$  V/m**

- Forschungs-Tool zur Erfassung der Nahfeld-Exposition
  - Direkt am Körper montierbare miniaturisierte mehrkanalige E-Feldsonde
  - Freiheiten bei der Formgebung ermöglichen Anpassungen für Messung an spezifischen Körperstellen und Szenarien
  - Direkte Erfassung zentraler Parameter, die bisher nur grob abgeschätzt werden konnten.
- Erweiterung der ExpoM-Plattform
  - Kombination von direkten Nahfeldmessungen und Exposimeter-Daten ergeben ein umfassendes Gesamtbild der persönlichen Exposition
- Ausblick
  - Weitere Miniaturisierung und Industrialisierung
  - Messkampagne mit Probanden (Q3 / 2023)

# Danksagung

- Forschungsstiftung für Strom und Mobilkommunikation (FSM)
- Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL)  
Kanton Zürich



FSM | Forschungsstiftung  
Strom und Mobilkommunikation  
FSM | Swiss Research Foundation for  
Electricity and Mobile Communication

