

Adaptive (5G-)Antenne im Betrieb: Entwarnung

Heiko Loretan | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Wie verhält sich eine adaptive Antenne im realen Betrieb – erkennt man einzelne Beams? Welche Auswirkungen hat der leistungsverstärkende Korrekturfaktor und wichtig: Schreitet bei erhöhtem Datenverkehr die automatische Leistungsbegrenzung zuverlässig ein? Werden die Strahlengrenzwerte zu jeder Zeit und überall eingehalten? Die Messkampagne der Abteilung für Umwelt zeigt Erstaunliches und gibt Entwarnung.

Die Strahlung von Mobilfunkantennen sieht man nicht, man hört sie nicht und man riecht sie nicht. Und trotzdem ist sie allgegenwärtig. Viele Menschen fühlen sich verunsichert – ja teilweise sogar bedroht. Mit der neuen Mobilfunktechnologie 5G und dem Einsatz neuartiger adaptiver Antennen hat diese Verunsicherung tendenziell eher zu- als abgenommen. Die Abteilung für Umwelt hat sich darum gefragt, wie sich eine adaptive Antenne effektiv im realen Umfeld verhält und welche Feldstärken unter praxisnahen Bedingungen mit niedrigem und hohem Mobilfunk-Datenverkehr gemessen werden können. Das Projektteam Fields at Work GmbH, Zürich, und Grolimund + Partner AG,

Aarau, ist im Auftrag der Abteilung für Umwelt diesen Fragen nachgegangen.

Dieser Artikel gibt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse – der Messbericht kann auf der kantonalen Homepage eingesehen werden unter www.ag.ch/umwelt > Elektromog und nichtionisierende Strahlung > 5G-Mobilfunk-Technologie.

Vorgehen und Methode

Um auf die einzelnen Fragestellungen einzugehen, wurden im Nahbereich einer adaptiven 5G-Antenne insgesamt drei unterschiedliche Arten von Messungen bzw. Messkampagnen an drei verschiedenen Messpunkten durchgeführt:

- Mit Hilfe einer Langzeitmessung wurden typische Tagesverläufe und Extremwerte unter normalen Bedingungen während der Dauer von mindestens einer Woche zwischen dem 23. Mai und dem 3. Juni 2022 an den drei ausgewählten Standorten erfasst.
- Mithilfe von Messungen bei einem forcierten Datenverkehr sollte die Dynamik der Exposition bei unterschiedlichen Auslastungen des Mobilfunknetzes aufgezeigt werden. Dabei wurde auch versucht, eine Worst-Case-Situation zur Triggerung von Extremwerten (Aktivierung der automatischen Leistungsbegrenzung) zu erzeugen.
- Zur Qualitätssicherung bzw. Validierung der Messungen der eingesetzten Dosimeter (ExpoM-RF-4-Geräte) wurden parallele Vergleichsmessungen mit hochaufgelösten Messinstrumenten durchgeführt.

Antenne, Dienste, Messpunkte

Auf der ausgewählten Anlage sind Dienste der 3G-, 4G- und 5G-Mobil-



Foto: Heiko Loretan

Blick vom OMEN (Ort mit empfindlicher Nutzung, links im Bild) auf die gemessene Mobilfunkanlage

funkgeneration in sieben verschiedenen Frequenzbändern aktiv. Es wurde insgesamt an drei verschiedenen Punkten die Feldstärke gemessen. Der Messpunkt OMEN liegt ziemlich genau in einer der Hauptstrahlrichtungen der Antenne, Messpunkt 1 (Dach Grolimund + Partner AG) in einem Winkel von +30° und Messpunkt 2 (Dach Verwaltung Kanton Aargau) in einem solchen von -50° zu dieser Hauptstrahlrichtung. Grund, dass eine der drei Langzeitmessungen in einem sogenannten OMEN – einem Ort mit empfindlicher Nutzung – durchgeführt wurde, ist, dass dieser Messpunkt im Standortdatenblatt der Antenne als eines der exponiertesten OMEN ausgewiesen wird. Die hochgerechnete Belastung im Standortdatenblatt beläuft sich auf 4,81 Volt pro Meter. Die Ausschöpfung des massgeblichen Anlagegrenzwerts von 5,0 Volt pro Meter beträgt somit 96,2 Prozent.

Aktive Frequenzen und Dienste der ausgewählten Anlage

Sendefrequenz (MHz)	Generation	Diensttyp	Bewilligte Leistung (W)
780,5	4G	LTE 700 FDD	445,66
806,0	4G	LTE 800	368,13
947,6	3G	UMTS 900	357,27
1815,1	4G	LTE 1800	468,81
2130,3	4G	LTE 2100	243,22
2130,3	5G	NR < 3 GHz (nicht adaptiv)	243,22
2655,0	4G	LTE 2600	137,72
3650,0	5G	NR > 3GHz (adaptiv)	988,55

Der Anteil von 5G nicht adaptiv wurde als 4G mitgemessen.
MHz: Megahertz; W: Watt

Quelle: BAKOM

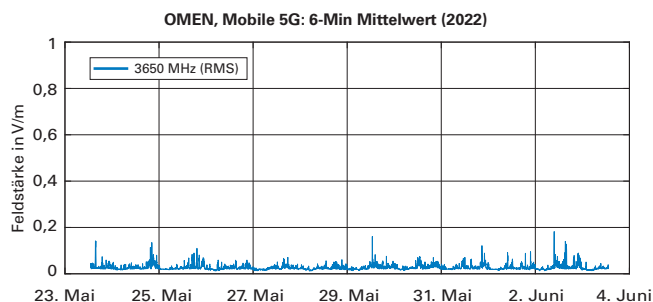
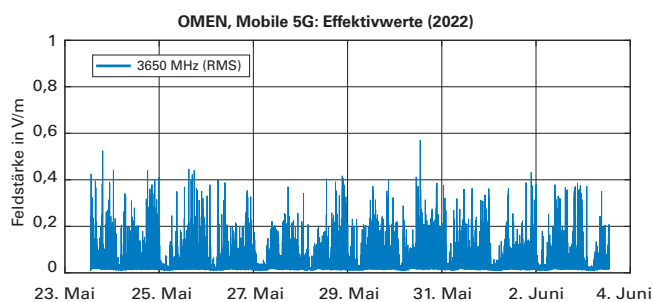
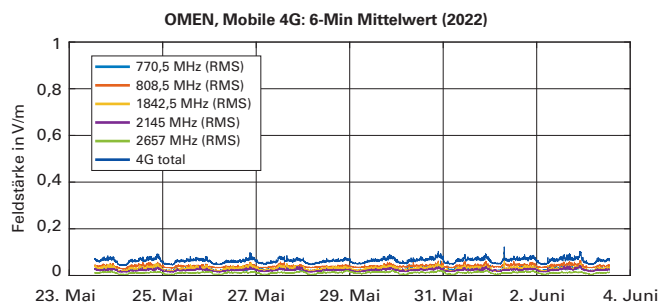
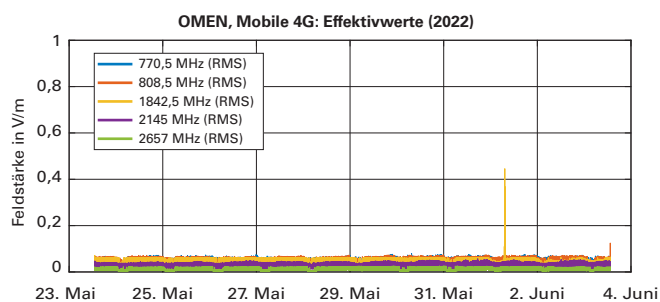
Resultate Langzeitmessung

Die gemessenen Effektivwerte bzw. 6-Min-Mittelwerte der beiden Funkdienste 4G LTE (inkl. 5G NR nicht adaptiv) und 5G NR (adaptiv) im Messpunkt OMEN zeigen, dass der massgebliche Anlagegrenzwert von

5 Volt pro Meter zu keiner Zeit auch nur ansatzweise erreicht wird. Zudem ist das Total der gesamten Feldstärke von der neuen 5G-Technologie dominiert. Die Dynamik des Signals ist bei 5G auch deutlich höher als bei den anderen Mobilfunkstandards – so er-

kennt man beispielsweise während der Phasen tiefer Nutzung (beispielsweise in der Nacht), dass die Effektivwerte bei 5G deutlich tiefer sind als bei den anderen Standards.

Feldstärke: Effektivwerte bzw. 6-Minuten-Mittelwerte



Die gemessenen Effektivwerte bzw. 6-Minuten-Mittelwerte der beiden Funkdienste 4G LTE (inkl. 5G NR nicht adaptiv, links) und 5G NR (adaptiv, rechts) im Messpunkt OMEN zeigen, dass der massgebliche Anlagegrenzwert von 5 Volt pro Meter zu keiner Zeit erreicht wird.

MHz: Megahertz; V/m: Volt pro Meter

Download-Zeiten für eine Datei eines Gigabytes via Mobilfunk

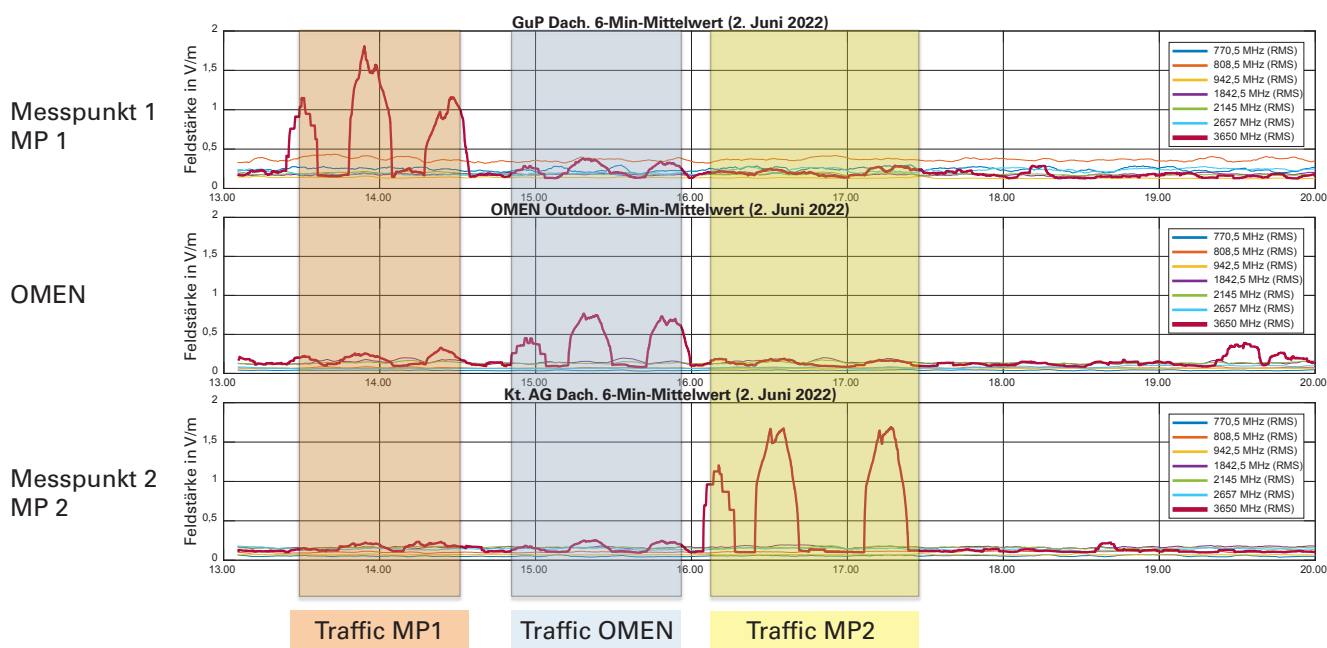
Standort	Download mit 4G	Download mit 5G	Datenrate 5G zu 4G
Messpunkt 1	2:30 min 2:28 min 2:23 min Durchschnitt: 6,8 MB/s	40 sec 33 sec 18 sec 18 sec Durchschnitt: 41,6 MB/s	611 % (Durchschnitt)
OMEN	51 sec 43 sec 2:56 min Durchschnitt: 16,2 MB/s	31 sec 29 sec 26 sec 38 sec Durchschnitt: 32,9 MB/s	203 % (Durchschnitt)
Messpunkt 2	1:31 min 1:50 min 2:26 min Durchschnitt: 8,9 MB/s	26 sec 28 sec 24 sec 27 sec Durchschnitt: 38,2 MB/s	426 % (Durchschnitt)

Bei der Benutzung von 5G für die Übertragung einer gegebenen Datenmenge (hier ein Gigabyte) wird deutlich weniger Zeit in Anspruch genommen als mit 4G. Das Experiment wurde drei- bis viermal wiederholt. MB/s: Megabyte pro Sekunde

Netzeffizienz

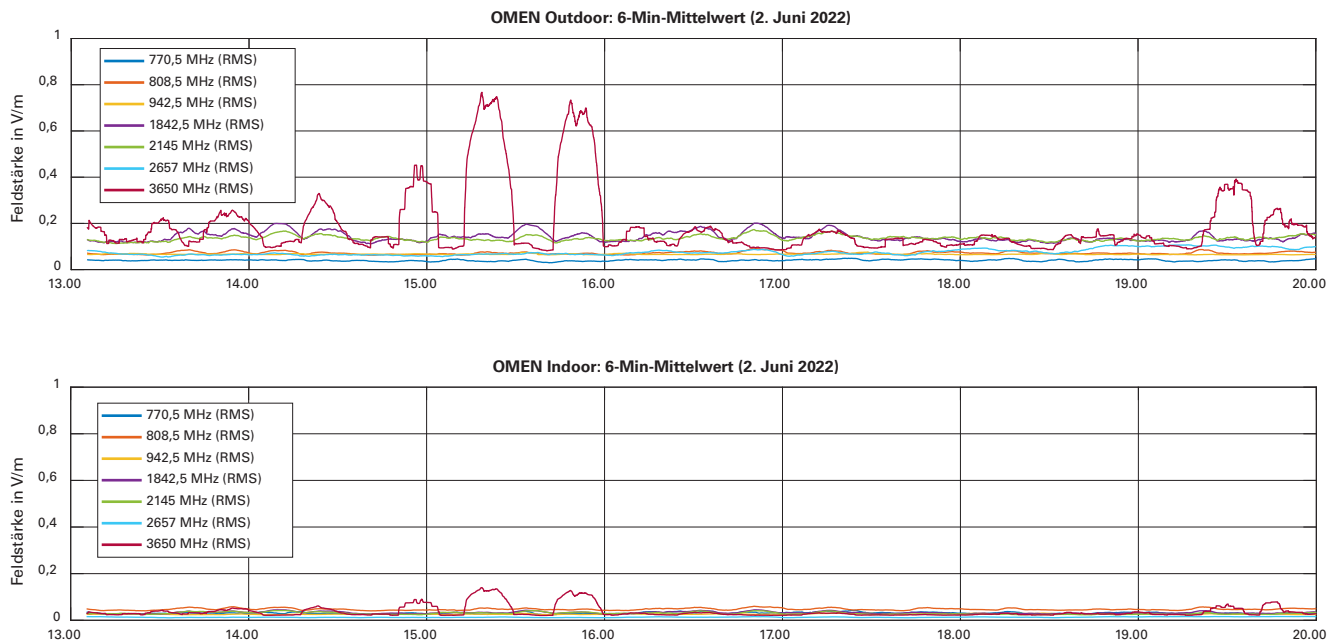
Um die Effizienz der Dienste 4G respektive 5G miteinander zu vergleichen, wurde in den drei Messpunkten jeweils dreimal nacheinander im jeweiligen Funkdienst eine Datei in der Grösse von einem Gigabyte heruntergeladen und dabei die Zeit gestoppt. Dabei führte der Wechsel von 4G zu 5G an allen drei Standorten zu einem deutlichen Anstieg der effektiven durchschnittlichen Datenübertragungsrate – und zwar um einen Faktor von zwei bis sechs. Da der Messaufbau «am lebenden Objekt» zahlreiche nicht kontrollierbare Parameter beinhaltet, sind die Messwerte zum Teil recht starken Schwankungen unterworfen. Auffällig sind beispielsweise die 4G-Messungen am Standort OMEN. Hier ist denkbar, dass sich das Smartphone nach der zweiten Messung auf einem anderen 4G-Frequenzband oder einer anderen Basisstation registriert hat. Letzteres ist ein Faktor, der als Endnutzender im Allgemeinen nicht ohne weiteres beeinflusst werden kann. Zusammenfassend lässt sich aber in jedem Fall sagen, dass bei Benutzung von 5G die Übertragung einer gegebenen Datenmenge deutlich weniger Zeit in Anspruch nimmt als mit 4G.

6-Minuten-Mittelwert des Feldstärkeverlaufs an den drei Messstationen mit forciertem Traffic



Im hervorgehobenen 3,5-Gigahertz-Band ist die Adaptivität der Antenne sehr gut erkennbar.

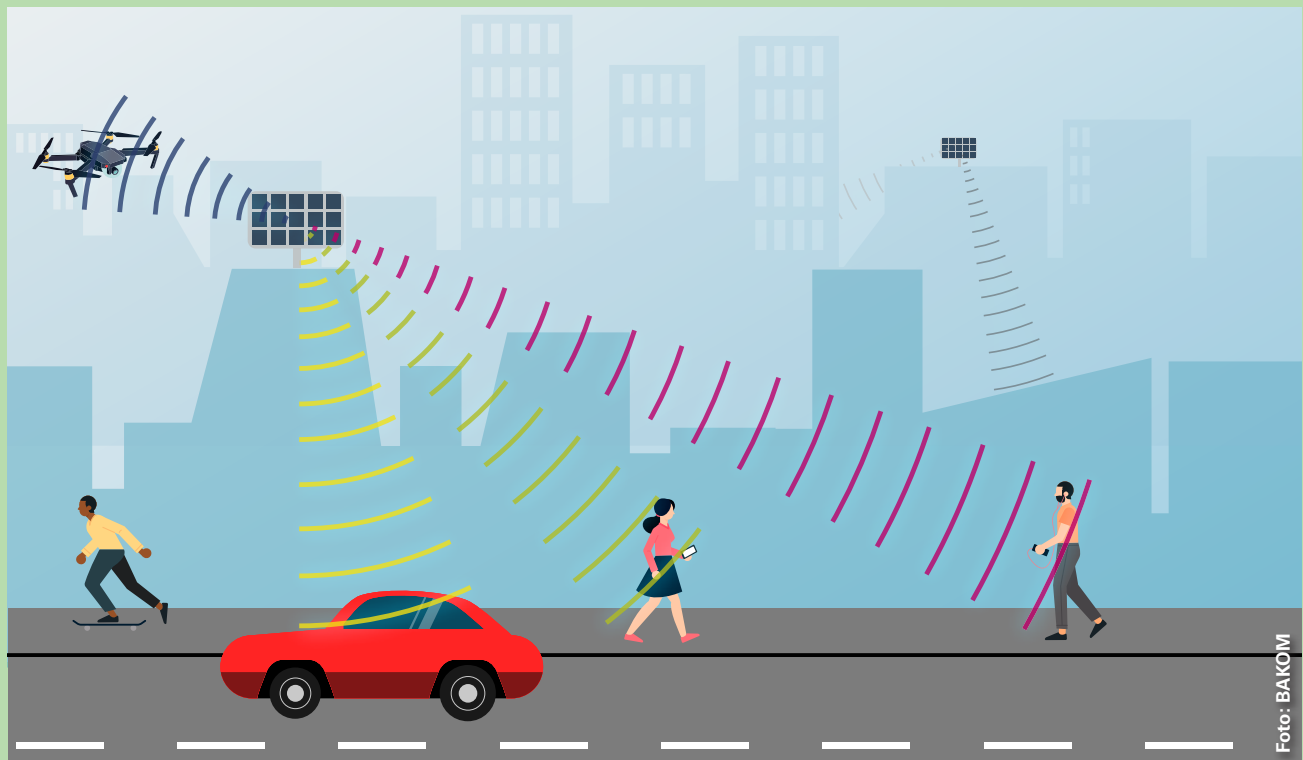
Zeitreihe der gemessenen Feldstärke während forciertem Traffic am Standort OMEN (6-Min-Mittelwert)



Im Gebäudeinnern (unten) werden wesentlich geringere Werte gemessen als aussen (oben). Die Gebäudedämpfung hat also einen wesentlichen Einfluss auf die gemessene Feldstärke.

Adaptive Antennen

Adaptive Antennen sind eine Weiterentwicklung in der Antennentechnologie. Adaptive Antennen sind in der Lage, die Signale auf einzelne Endgeräte zu fokussieren (sogenanntes «Beamforming»). Sie können mit derselben Energie mehr Daten übertragen. Durch die klarere Trennung der Funksignale der einzelnen Mobilgeräte (Smartphones, Tablets usw.) vermeiden sie ungewollte Störungen. Die Verbindungsqualität wird dadurch verbessert, und wer kein Mobilgerät nutzt, ist in der Regel einer geringeren Strahlung ausgesetzt (Quelle: www.5g-info.ch).



Vergleich der gemessenen Werte innen und aussen am Standort OMEN

Band	Effektivwert, über der gesamten Messung gemittelt			Peak-Wert, 90 %-Perzentil			Maximum des über 6 Min gemittelten Effektivwerts		
	Aussen [V/m]	Innen [V/m]	Unterschied	Aussen [V/m]	Innen [V/m]	Unterschied	Aussen [V/m]	Innen [V/m]	Unterschied
11-0771M-dl	0,04	0,03	2,6 dB	0,42	0,35	1,5 dB	0,07	0,05	3,4 dB
12-0809M-dl	0,07	0,04	3,9 dB	0,56	0,33	4,6 dB	0,10	0,06	4,3 dB
15-0943M-dl	0,07	0,03	8,4 dB	0,43	0,18	7,5 dB	0,10	0,03	9,1 dB
18-1843M-dl	0,14	0,03	13,0 dB	0,85	0,19	13,1 dB	0,21	0,05	12,2 dB
21-2145M-dl	0,13	0,03	13,3 dB	0,69	0,19	11,4 dB	0,19	0,04	12,9 dB
25-2657M-dl	0,06	0,01	14,7 dB	0,40	0,05	18,6 dB	0,11	0,02	15,9 dB
36-3650M-	0,18	0,04	14,3 dB	4,42	0,96	13,2 dB	0,77	0,14	14,8 dB
Total bzw. Durchschnitt	0,29	0,08	11,0 dB	–	–	12,9 dB	–	–	12,3 dB

Bei höheren Trägerfrequenzen nimmt die Dämpfung stark zu. Im 5G-Band von 3,5 GHz beträgt diese über 13 dB, was einer Reduktion der Leistungsdichte um 95 Prozent entspricht.

V/m: Volt pro Meter; dB: Dezibel

Beamforming

Die Frage, wie adaptiv die untersuchte Antenne eigentlich funktioniert, wurde durch die Beobachtung der Feldstärke an den drei Messpunkten beim Herunterladen einer ein Gigabyte grossen Datei untersucht. Dabei wurde die Feldstärke beim Messpunkt OMEN nicht in der Wohnung, sondern vor dem Fenster auf dem Dach gemessen.

Die höchsten Feldstärken treten jeweils am Standort auf, an welchem der Download-Verkehr erzeugt wurde. Bei konventionellen Antennen, die nicht adaptiv betrieben werden können, kann dieser Effekt nicht beobachtet werden, da die Sendeleistung unabhängig von der Lage der Endgeräte immer gleich im Raum verteilt wird (statisches Antennendiagramm).

OMEN

Bei den Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) handelt es sich gemäss Artikel 3 Absatz 3 NISV (Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung) um:

- Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten;
- öffentliche oder private, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielflächen;
- diejenigen Bereiche von unüberbauten Grundstücken, in denen die vorstehend erwähnten Nutzungen zugelassen sind.

Die Mehrheit aller OMEN befindet sich demnach innerhalb von Gebäuden. Ausserhalb von Gebäuden gelten nur raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielflächen sowie unüberbaute eingezonte Grundstücke, auf denen empfindliche Nutzungen zulässig sind, als OMEN (Quelle: www.bafu.admin.ch).



Foto: Heiko Loretan

Adaptive 5G-Antenne, (Symbolbild)

Einfluss der Gebäudedämpfung

Am Messpunkt OMEN wurde abschliessend während zirka 24 Stunden gleichzeitig im Wohnungsinnen und vor dem Fenster eine Messung durchgeführt. Ziel dieser Messung war zu zeigen, welchen Einfluss die sogenannte Gebäudedämpfung auf die gemessenen Feldstärken hat. Dabei wurden im Gebäudeinnern wesentlich geringere Werte als aussen gemessen. Heruntergebrochen auf die einzelnen Frequenzbänder kann festgehalten werden, dass die Dämpfung bei höheren Trägerfrequenzen stark zunimmt. Im 5G-Band von 3,5 Gigahertz beträgt diese über 13 dB, was einer Reduktion der Leistungsdichte um 95 Prozent entspricht. Dies ist deshalb von Interesse, da in den rechnerischen Prognosen die Gebäudedämpfung in der Regel nicht berücksichtigt wird (0 dB Gebäudedämpfung).

Fazit

Im Rahmen der durchgeführten Pilotstudie konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Der Anlagegrenzwert der NISV (Verordnung über den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung) wird an allen Standorten (inkl. OMEN) mit einer deutlichen Marge eingehalten.
- Bei der 5G-Technologie treten im Vergleich zu 4G kurzzeitig um ein Vielfaches höhere Feldstärkewerte auf. Andererseits sind die Werte bei der 5G-Technologie während den weniger aktiven Phasen tiefer, was im 6-Minuten-Durchschnitt zu ähnlichen bis tieferen Werten als bei 4G führt.
- Mit der Pilotstudie kann keine Aussage gemacht werden, inwiefern sich dieses Muster bei stärkerer Nutzung (Verbreitung von 5G-fähigen Endgeräten) des 5G-Netzes verändert.
- Die Adaptivität der Senderichtung konnte mittels forcierten Downloads qualitativ gezeigt werden.

Mobilfunkstrahlung selber messen

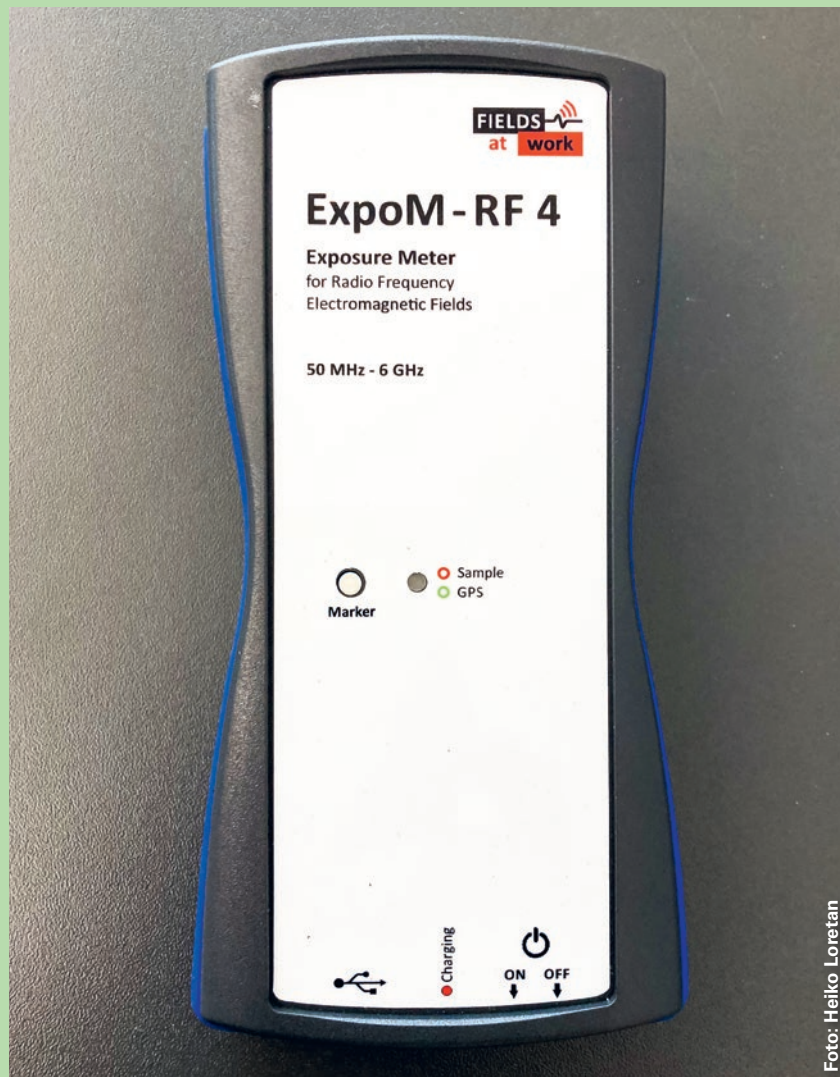


Foto: Heiko Loretan

In den Messungen wurden Exposimeter ExpoM-RF 4 von FIELDS at work eingesetzt. Haben Aargauerinnen und Aargauer den Verdacht, dass die Mobilfunkstrahlung bei ihnen zu Hause zu hoch ist, können diese Geräte kostenlos bei der Abteilung für Umwelt ausgeliehen werden (nis@ag.ch).

- Trotz forciertem Datenverkehr musste die automatische Leitungsbegrenzung nie einschreiten.
- Um diesen Aspekt noch näher zu untersuchen, wäre eine dichtere Anordnung von Sensoren nötig. Damit könnten auch genauere Aussagen

über die Effizienz des 5G-Netzes im Vergleich zu den vorherigen Mobilfunkstandards gemacht werden.

- Für die 5G-Technologie (3500 Megahertz) wurde aufgrund der höheren Trägerfrequenz eine deutlich höhere Gebäudedämpfung beobachtet.