



8. Dezember 2022

BAKOM-Bericht

Elektrische Feldstärken im Wirkungsbereich adaptiver und konventioneller Mobilfunkantennen

Feldstärkemessungen mit der NIS-Messstation

Zusammenfassung

Bestehende Mobilfunkanlagen werden seit April 2019 mit adaptiven Antennen erweitert. Adaptive Antennen verfügen im Vergleich zu den konventionellen Antennen über eine dynamische Abstrahlcharakteristik, wobei die Aussendung der Nutzdaten in Richtung des Endgerätes erfolgt.

Da es sich dabei um eine neue Antennentechnologie handelt, führte das BAKOM von Herbst 2021 bis Frühling 2022 eine Messkampagne durch, mit dem Ziel die ankommenden Funksignale punktuell zu messen und zeitlich darzustellen. Dies gibt Aufschluss über die Aussendungseigenschaften der adaptiven und der konventionellen Antennen und zeigt die kombinierte Gesamtfeldstärke im Wirkungsbereich der Antennen.

Die Messungen erfolgten bei drei Mobilfunkanlagen von Swisscom, Sunrise und Salt, welche aktuell mit beiden Antennentechnologien bewilligt sind und so betrieben werden. Im Rahmen dieser Studie wurden Feldstärkemessungen an verschiedenen Standorten während jeweils zirka einer Woche durchgeführt. Gemessen wurde jeweils mindestens an je einem Aussen- und einem Innenstandort.

Die Messungen bestätigen bei konventionellen Antennen, dass sich während der Übertragung von Nutzdaten die Feldstärke im gesamten Wirkungsbereich der Antenne erhöht, unabhängig davon, wo sich der Empfänger befindet.

Bei den adaptiven Antennen hingegen sind die Funksignale nur dann messbar, wenn die Endgeräte, welche Daten anfordern, sich in der Nähe des Messstandortes befinden. Dies zeigt sich durch tiefere Mittelwerte der Feldstärke bei den adaptiven Antennen im Vergleich mit konventionellen Antennen.

Impressum

Projektleitung und Durchführung:

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Kommunikation (BAKOM)
Abteilung Konzessionen und Frequenzmanagement KF
Sektion Elektromagnetische Verträglichkeit EMV

Autoren:

André Trabold, BAKOM
Samuel Gsteiger, BAKOM

Zugang zu den Messstandorten mit freundlicher Erlaubnis von:

Hausdienst BAG-Campus, Liebefeld
Hausdienst Schule Neuenhof, Neuenhof
Hausdienst Berufsfachschule Winterthur, Winterthur
Hausdienst Firma Hasler, Winterthur

Inhalt

1 Ausgangslage	3
2 Technische Angaben	3
2.1 Mobilfunkstationen.....	3
2.1.1 KONI/BE173-1.....	3
2.1.2 AG008-1	4
2.1.3 ZH_2440A	4
2.2 Mobile Messstation	5
3 Messung der Feldstärke	6
3.1 Auswahl der Messstandorte	6
3.1.1 Anlage KONI/BE173-1	6
3.1.2 Anlage AG008-1	8
3.1.3 Anlage ZH_2440A.....	9
3.2 Messresultate	10
3.2.1 Definitionen	10
3.2.2 KONI/BE173-1.....	13
3.2.3 AG008-1	31
3.2.4 ZH_2440A	37
3.3 Analyse	44
4 Schlussfolgerungen	45
Abkürzungen	46
Referenzen	46
Anhang 1: Rohdaten der Messdiagramme	46

1 Ausgangslage

Mit der Einführung von 5G werden auf Mobilfunkanlagen neu auch adaptive Antennen installiert. Die bisherigen konventionellen Antennen senden die Mobilfunkdaten mit einer festen Abstrahlcharakteristik (festes Antennendiagramm) in das gesamte Versorgungsgebiet und so zu den Endgeräten. Die adaptiven Antennen hingegen senden die Nutzsignale spezifisch in Richtung des entsprechenden Endgerätes. Für die unbeteiligten Zonen des Versorgungsgebiets werden keine Nutzdaten erzeugt und ausgesendet.

Diese Messkampagne soll die unterschiedlichen Abstrahlcharakteristiken der konventionellen und adaptiven Antennen dokumentieren und der zeitliche Verlauf der elektrischen Feldstärke an konkreten Standorten aufzeigen. Damit soll untersucht werden welche Maximalwerte bei den beiden Antennenarten auftreten und wie gross deren mittlere Feldstärken sind. Weiter soll das Verhältnis Maximalwert/Mittelwert (Max/Mittel) betrachtet werden und ob daraus Unterschiede für konventionelle und adaptive Antennen ersichtlich sind.

Dazu werden an mehreren Standorten im Empfangsbereich von Antennen, der sogenannten Funkzelle, die elektrischen Feldstärken gemessen. Die Anteile des Downlinks aller Mobilfunkbänder werden unterschieden, insbesondere die neuen 3.5 – 3.8 GHz-Bänder (3500 – 3800 MHz), und separat aufgezeigt. Die Messungen werden von Herbst 2021 bis Frühling 2022 durchgeführt.

Um möglichst repräsentative Ergebnisse zu erhalten wurden von jedem der drei Betreiber eine Anlage ausgesucht und es wurden jeweils Messstandorte ausgewählt, die in der Funkzelle verteilt sind und sich innerhalb und ausserhalb von Gebäuden befinden.

Die ausgesuchten Mobilfunkstationen verfügen sowohl über konventionelle als auch über adaptive Antennen.

Die Betreiber wurden vor dieser Messkampagne nicht über die Messtätigkeit informiert. Die Messungen ergeben damit eine Momentaufnahme der Situation mit den aktuellen Netzeinstellungen. Hingegen ist es rückwirkend nicht mehr möglich konkrete Rückschlüsse auf die Anzahl aktiver Endgeräte oder das ausgesendete Datenvolumen zu ziehen.

Diese Messungen sind nicht mit NIS-Abnahmemessungen anlässlich der Inbetriebnahme einer Mobilfunkanlage gleich zu setzen, bei welchen innerhalb von OMEN die örtlichen Feldstärkemaxima gesucht werden. Ebenfalls sind diese Messungen kein NIS-Monitoring, da hier die Abstrahlcharakteristik betrachtet wird und es sich nicht um die Ermittlung der Exposition handelt.

2 Technische Angaben

2.1 Mobilfunkstationen

Während allen Messungen sind die Mobilfunkanlagen mit eingeschaltetem Korrekturfaktor und automatischer Leistungsbegrenzung in Betrieb, so wie sie gemäss der aktuellen NISV bewilligt sind.

2.1.1 KONI/BE173-1

Diese Mobilfunkstation ist eine «site sharing» Anlage von Swisscom und Sunrise, das heisst Swisscom ist die anlageverantwortliche Firma mit Sunrise als Mitbenutzer.

KONI (Swisscom)

In Betrieb sind konventionelle und adaptive Antennen, wobei alle möglichen Bänder vom Lowband (700 – 900 MHz) und Highband (1800 – 3600 MHz) vorhanden sind. Die während der Messkampagne eingestellten maximalen Sendeleistungen ERP, allenfalls nach Anwendung des Korrekturfaktors, sind auf 50 W gerundet. In der Folge sind die Sendeleistungen pro Sektor und Frequenzband aufgelistet. Gewählt wurde jeweils derjenige Sektor, welcher die Messstandorte versorgt. Der Zweck dieser Angabe ist es, in etwa abschätzen zu können wie die Versorgung bei den Messstandorten ist.

<u>Technologie</u>	<u>Frequenz</u>	<u>Sektor 1</u>	<u>Sektor 3</u>	<u>Antennentyp</u>
• LTE (4G)	700 MHz:	250 Werp	200 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	800 MHz:	450 Werp	450 Werp	konventionelle Antenne
• UMTS (3G)	900 MHz:	150 Werp	150 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	1800 MHz:	250 Werp	250 Werp	konventionelle Antenne

• LTE (4G) / NR (5G)*	2100 MHz:	250 Werp	150 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	2600 MHz:	50 Werp	50 Werp	konventionelle Antenne
• NR (5G)	3600 MHz:	350 Werp	750 Werp	adaptive Antenne

* Dynamische Aufteilung des Frequenzbandes für die Nutzung der Technologien 4G und 5G

BE173-1 (Sunrise)

Es sind nur konventionelle Antennen mit Low- und Highband verbaut. Die während der Messkampagne eingestellten Sendeleistungen ERP sind auf 50 W gerundet. Gewählt wurde jeweils derjenige Sektor, welcher die Messstandorte versorgt. Der Zweck dieser Angabe ist es, in etwa abschätzen zu können wie die Versorgung bei den Messstandorten ist.

<u>Technologie</u>	<u>Frequenz</u>	<u>Sektor B</u>	<u>Sektor C</u>	<u>Antennentyp</u>
• LTE (4G)	800 MHz:	300 Werp	250 Werp	konventionelle Antenne
• UMTS (3G)	900 MHz:	200 Werp	250 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	1800 MHz:	550 Werp	500 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	2100 MHz:	200 Werp	200 Werp	konventionelle Antenne

2.1.2 AG008-1

Diese Mobilfunkstation ist eine Anlage von Sunrise (kein «site sharing»).

In Betrieb sind konventionelle und adaptive Antennen, wobei ausser dem 700 MHz-Band alle möglichen Bänder vom Lowband (800 – 900 MHz) und Highband (1800 – 3600 MHz) vorhanden sind. Die während der Messkampagne eingestellten Sendeleistungen ERP, allenfalls nach Anwendung des Korrekturfaktors, sind auf 50 W gerundet. In der Folge sind die Sendeleistungen pro Sektor und Frequenzband aufgelistet. Gewählt wurde jeweils derjenige Sektor, welcher die Messstandorte versorgt. Der Zweck dieser Angabe ist es, in etwa abschätzen zu können wie die Versorgung bei den Messstandorten ist.

<u>Technologie</u>	<u>Frequenz</u>	<u>Sektor B</u>	<u>Antennentyp</u>
• LTE (4G)	800 MHz:	150 Werp	konventionelle Antenne
• UMTS (3G)	900 MHz:	200 Werp	konventionelle Antenne
• NR (5G)	900 MHz:	50 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	1800 MHz:	450 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	2100 MHz:	50 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	2600 MHz:	300 Werp	konventionelle Antenne
• NR (5G)	3700 MHz:	800 Werp	adaptive Antenne

Bemerkung:

Das 900 MHz-Band ist bei dieser Anlage auf die beiden Technologien 3G und 5G aufgeteilt.

2.1.3 ZH_2440A

Diese Mobilfunkstation ist eine Anlage von Salt (kein «site sharing»).

In Betrieb sind konventionelle und adaptive Antennen, wobei alle möglichen Bänder vom Lowband (700 – 900 MHz) und Highband (1800 – 3600 MHz) vorhanden sind. Die während der Messkampagne eingestellten Sendeleistungen ERP, allenfalls nach Anwendung des Korrekturfaktors, sind auf 50 W gerundet. In der Folge sind die Sendeleistungen pro Sektor und Frequenzband aufgelistet. Gewählt wurde jeweils derjenige Sektor, welcher die Messstandorte versorgt. Der Zweck dieser Angabe ist es, in etwa abschätzen zu können wie die Versorgung bei den Messstandorten ist.

<u>Technologie</u>	<u>Frequenz</u>	<u>Sektor 1</u>	<u>Sektor 3</u>	<u>Antennentyp</u>
• NR (5G)	700 MHz:	300 Werp	100 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	800 MHz:	300 Werp	200 Werp	konventionelle Antenne
• UMTS (3G)	900 MHz:	400 Werp	300 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	1800 MHz:	600 Werp	500 Werp	konventionelle Antenne

• UMTS (3G)	2100 MHz:	350 Werp	400 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	2100 MHz:	500 Werp	450 Werp	konventionelle Antenne
• LTE (4G)	2600 MHz:	600 Werp	500 Werp	konventionelle Antenne
• NR (5G)	3500 MHz:	400 Werp	300 Werp	adaptive Antenne

2.2 Mobile Messstation

Für alle Messungen wurde die folgende Messstation verwendet:

Hersteller Messstation:	Narda
Typ Messstation:	AMS-8061
Inventarnummer:	2015-07
Seriennummer Messstation:	000WX60301
Typ Messsonde:	EHA-2B-01
Seriennummer Messsonde:	000WX50708
Frequenzbereich Messsonde:	100 kHz bis 6 GHz
Linearität Messsonde:	$\leq \pm 2$ dB
Frequency response Messsonde:	$\leq \pm 3$ dB
Overall anisotropy Messsonde:	<3.5 dB up to 6 GHz
Letzte Kalibrierung:	12.05.2021

Messeinstellungen:

Frequenzbänder:	743 – 788 MHz; 791 – 821 MHz; 925 – 960 MHz; 1442 – 1517 MHz; 1805 – 1880 MHz; 2110 – 2170 MHz; 2570 – 2685 MHz; 3500 – 3580 MHz; 3580 – 3700 MHz; 3700 – 3800 MHz.
Speicherintervall:	6 Minuten
Messbereich:	0.01 – 160 V/m
Empfindlichkeit:	0.01 V/m
Auflösung:	0.01 V/m
Messablauf:	Sequentielle breitbandige Messung der einzelnen Frequenzbänder
Observation time / Band:	1 Sekunde
Revisit time / Band:	10 Sekunden
Messbandbreite:	Nach gemessenem Frequenzband
Detektor:	RMS und Peak in V/m
Gespeicherte Messwerte:	RMS und Peak (Max Hold) in V/m jeweils über 6 Minuten
Verwendeter Messwert:	Peak (Max Hold) in V/m über 6 Minuten

Bemerkung:

Die Messstation verfügt über eine isotrope Antenne und misst damit die elektrischen Felder unabhängig aus welcher Richtung diese eingestrahlt werden. Da die Messstation jeweils nahe an der entsprechenden Mobilfunkstation platziert ist, misst sie vorwiegend deren Aussendung. Benachbarte Mobilfunkstationen haben höchstens einen kleinen Einfluss.

3 Messung der Feldstärke

An mehreren einzelnen Standorten im Wirkungsbereich der Funkzelle wird die elektrische Feldstärke gemessen. Dabei werden die jeweiligen Anteile des Downlinks der konventionellen und der adaptiven Antennen separat aufgezeichnet. So können die unterschiedlichen Abstrahlcharakteristiken der Antennen überprüft werden.

3.1 Auswahl der Messstandorte

Die Messstandorte werden so gewählt, dass sie verteilt im Wirkungsbereich der Mobilfunkanlage sind. So befinden sie sich innerhalb von Gebäuden bei Arbeitsplätzen und in Schulzimmern sowie im Freien auf Gehwegen, vor Fassaden sowie auf Dächern.

3.1.1 Anlage KONI/BE173-1

Auf dem Areal des BAG im Liebefeld wurden sechs Messstandorte im Aussen- und Innenbereich ausgewählt. Diese Messstandorte befinden sich im Versorgungsbereich der Mobilfunkstation KONI von Swisscom, welche sowohl über konventionelle als auch über adaptive Antennen verfügt. Beim gleichen Mobilfunkstandort ist die Mobilfunkstation BE173-1 von Sunrise installiert, welche ausschliesslich aus konventionellen Antennen besteht.

Fünf Messstandorte sind Aussenstandorte. Ein Messstandort wurde im Innenbereich zwecks Vergleich mit der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt [2] des OMENs gewählt. Bei den Aussenstandorten wurde sowohl in Bodennähe wie auch auf einem Gebäudedach und einem Veloständerdach gemessen.



Abbildung 1: Messstandort #1 Nähe Parkplatz

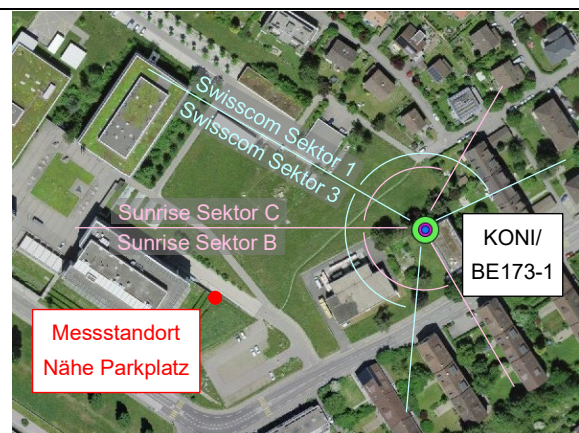


Abbildung 2: Messstandort #1 Satellitenbild



Abbildung 3: Messstandort #2 Dach Agroscope



Abbildung 4: Messstandort #2 Satellitenbild



Abbildung 5: Messstandort #3 Dach Veloständer

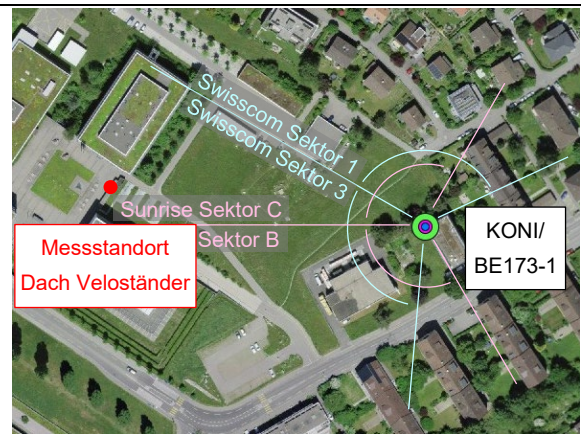


Abbildung 6: Messstandort #3 Satellitenbild



Abbildung 7: Messstandort #4 Nähe Bushaltestelle

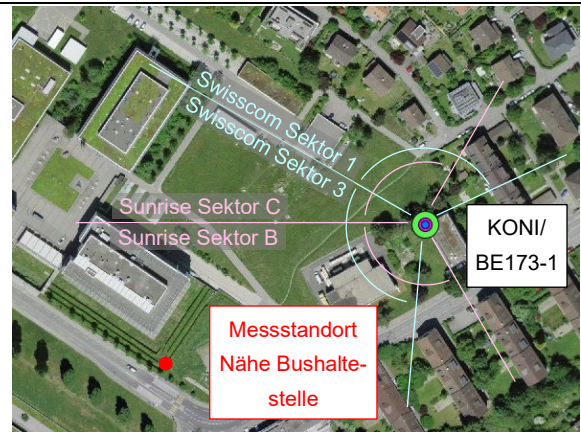


Abbildung 8: Messstandort #4 Satellitenbild



Abbildung 9: Messstandort #5 Fassade Agroscope

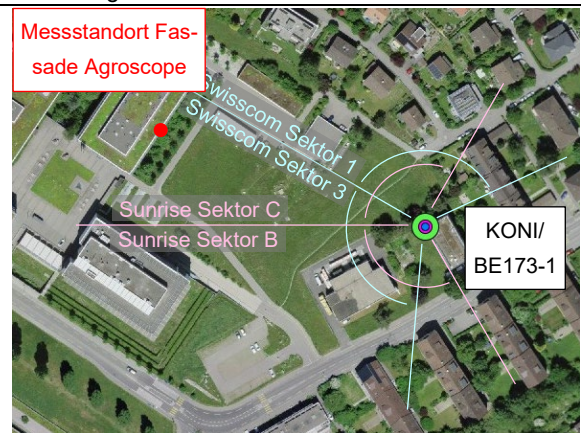


Abbildung 10: Messstandort #5 Satellitenbild

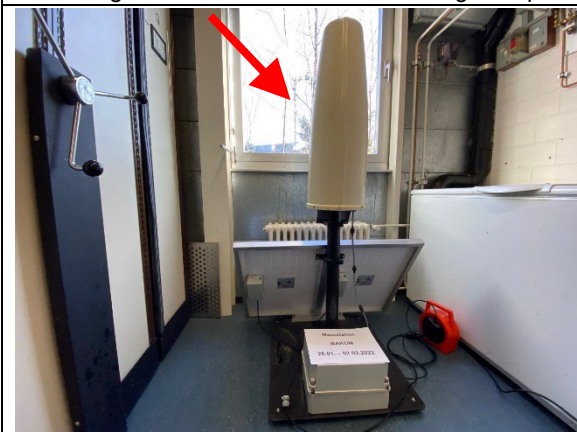


Abbildung 11: Messstandort #6 Atelier Bienenhaus

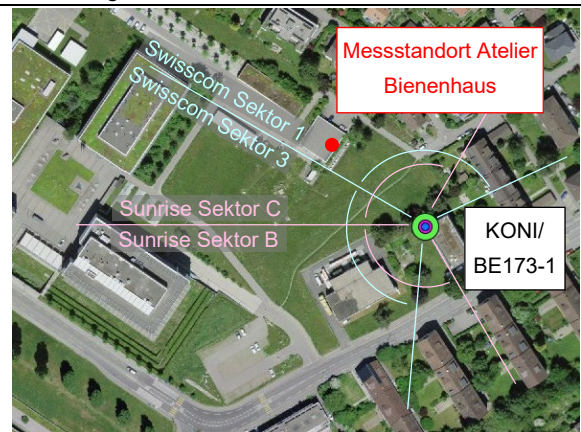


Abbildung 12: Messstandort #6 Satellitenbild

Koordinaten der Messstandorte: #1 Nähe Parkplatz - 2'598'850.7 / 1'197'565.9
#2 Dach Agroscope - 2'598'833.7 / 1'197'674.3
#3 Dach Veloständer - 2'598'797.6 / 1'197'622.7
#4 Nähe Bushaltestelle - 2'598'825.9 / 1'197'526.1
#5 Fassade Agroscope - 2'598'823.0 / 1'197'652.2
#6 Atelier Bienenhaus (OMEN 5) - 2'598'913.1 / 1'197'644.4

3.1.2 Anlage AG008-1

Auf dem Schulareal in Neuenhof wurden je ein Messstandort im Aussen- und Innenbereich ausgewählt. Diese Messstandorte befinden sich im Versorgungsbereich der Mobilfunkstation AG008-1 von Sunrise, welche sowohl über konventionelle als auch über adaptive Antennen verfügt.

Der Messstandort im Innenbereich des Alten Schulhauses wurde zwecks Vergleich mit der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt [2] des OMENs gewählt. Der Messstandort im Aussenbereich auf dem Dach der Aula wurde so gewählt, dass er exponiert im Wirkungsbereich der Mobilfunkanlage liegt. Zudem stehen in der Flucht nach hinten ein Teil des Schulhauses und weiter die Gemeindeverwaltung von Neuenhof.



Abbildung 13: Messstandort #1 Altes Schulhaus



Abbildung 14: Messstandort #1 Satellitenbild



Abbildung 15: Messstandort #2 Dach Aula

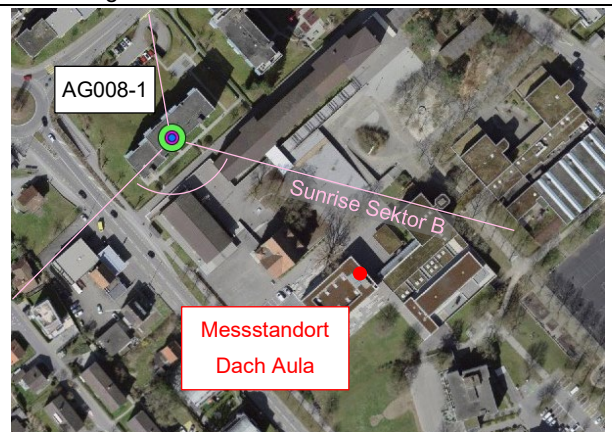


Abbildung 16: Messstandort #2 Satellitenbild

Koordinaten der Messstandorte: #1 Altes Schulhaus - 2'666'885.8 / 1'256'027.8
#2 Dach Aula - 2'666'931.1 / 1'256'012.6

3.1.3 Anlage ZH_2440A

Bei der Berufsfachschule Winterthur und auf dem Dach der Firma Hasler in Winterthur wurden drei Messstandorte im Aussen- (Dach Firma Hasler) und Innenbereich (Schulzimmer/Druckerraum Berufsfachschule) ausgewählt. Diese Messstandorte befinden sich im Versorgungsbereich der Mobilfunkstation ZH_2440A von Salt, welche sowohl über konventionelle als auch über adaptive Antennen verfügt.

Der Messstandort im Schulzimmer G401 der Berufsfachschule Winterthur wurde zwecks Vergleich mit der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt [2] des OMENs gewählt. Die Messergebnisse weisen bei diesem Messstandort eine sehr kleine Amplitude auf. Dies ergab den Verdacht auf eine starke Abschirmung der elektromagnetischen Wellen von der Fensterfront, so dass ein zweiter Messstandort im Druckerraum zur Evaluierung des Einflusses der Fenster hinzugenommen wurde.

Der Messstandort im Aussenbereich auf dem Dach der Firma Hasler wurde so gewählt, dass er exponiert im Wirkungsbereich der Mobilfunkanlage liegt, da in der Flucht nach hinten ein Schulhaus (Berufsvorbereitung Winterthur) und das Bundesamt für Strassen ASTRA stehen.



Abbildung 17: Messstandort #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401

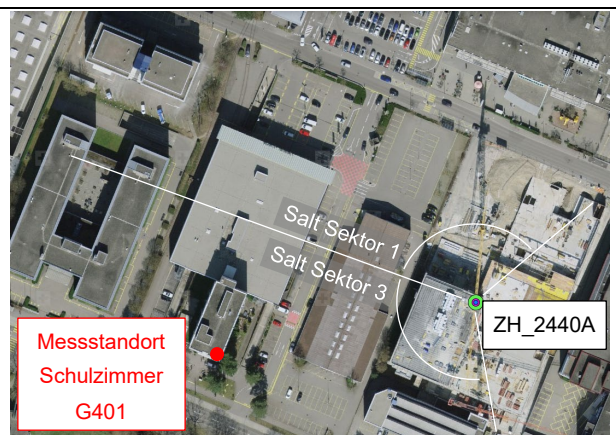


Abbildung 18: Messstandort #1 Satellitenbild



Abbildung 19: Messstandort #2 Berufsfachschule Druckerraum (Fenster offen)



Abbildung 20: Messstandort #2 Berufsfachschule Druckerraum (Fenster zu)

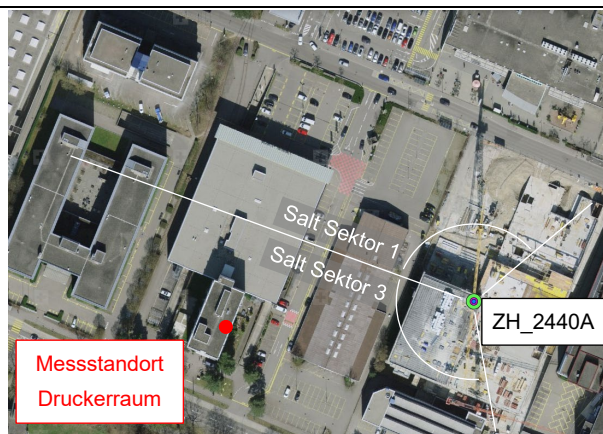


Abbildung 21: Messstandort #2 Satellitenbild

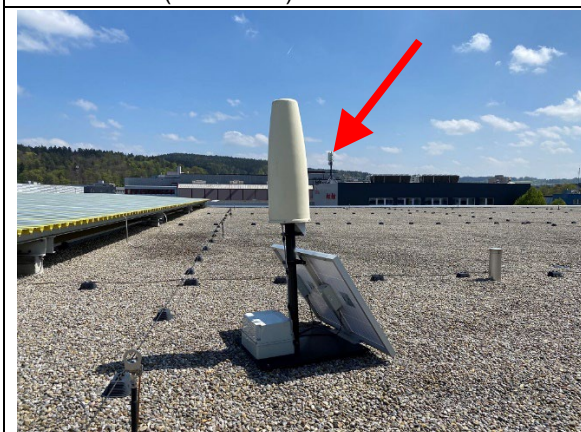


Abbildung 22: Messstandort #3 Dach Firma Hasler

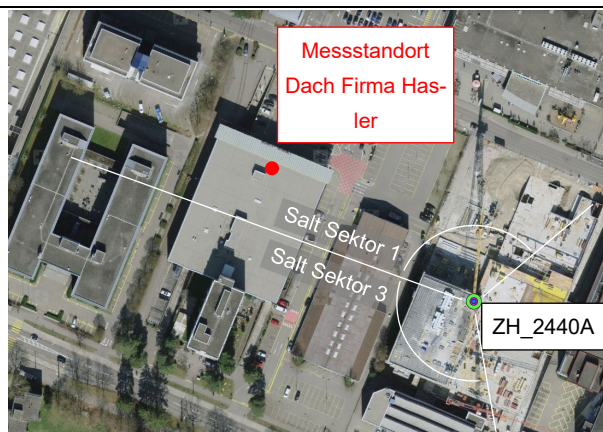


Abbildung 23: Messstandort #3 Satellitenbild

Koordinaten der Messstandorte: #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401 - 2'699'280.9 / 1'261'110.4
#2 Berufsfachschule Druckerraum - 2'699'283.2 / 1'261'116.3
#3 Dach Firma Hasler - 2'699'305.9 / 1'261'195.3

3.2 Messresultate

3.2.1 Definitionen

Für alle folgenden Messdiagramme gilt:

- Die y-Achse zeigt die gemessene Feldstärke in V/m linear auf.
- Die x-Achse, ist die Zeitachse, steht im 6-Stundenraster da, wobei jeweils jeder ganze Tag mit zugehörigem Datum als Hauptlinie aufgeführt ist. Bei allen Messstandorten wurde während 6 - 7 Tagen gemessen.

Die Messdiagramme zeigen die Frequenzbänder unterhalb 3 GHz, welche alle Downlinkbänder der drei Provider beinhalten. Die 3.5 – 3.8 GHz-Frequenzbänder wurden für jeden Provider einzeln dargestellt, um sie genauer betrachten zu können. Farblich wurde folgendermassen zugeordnet:

- Grüne Farben: 3x Lowband (700, 800 & 900 MHz-Band)
- Gelbe Farben: 2x Unteres Highband (1400 & 1800 MHz-Band)
- Blaue Farben: 2x Mittleres Highband (2100 & 2600 MHz-Band)
- Rote Farben: 3x Oberes Highband (3500, 3600 & 3700 MHz-Band)

- **Braun:** Resultierende Gesamtfeldstärke über alle gemessenen Frequenzbänder. Als punktierte Linie ist die resultierende Gesamtfeldstärke über alle 10 Frequenzbänder dargestellt.

$$\text{Resultierende Feldstärke über 10 Bänder: } E_{Res10} = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} E_i^2} \quad \text{Formel 1}$$

wobei E_i der gespeicherte 6-Min. Max Hold Wert des i -ten Frequenzbandes ist.

Die durchgezogene Linie stellt zum Vergleich die resultierende Gesamtfeldstärke ohne die 3.5 – 3.8 GHz-Frequenzbänder dar.

$$\text{Resultierende Feldstärke über 7 Bänder: } E_{Res7} = \sqrt{\sum_{i=1}^7 E_i^2} \quad \text{Formel 2}$$

wobei E_i der gespeicherte 6-Min. Max Hold Wert des i -ten Frequenzbandes ist.

- **Violett:** Die durchgezogene Linie ist der Anlagegrenzwert AGW. Die punktierte Linie entspricht der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt [2]

Nach den Messdiagrammen sind für jeden Messstandort jeweils noch drei Tabellen vorhanden. In der ersten Tabelle werden die folgenden Grössen pro Frequenzband betrachtet:

- **Min.-Wert:** Minimaler Wert aller gespeicherten Messwerte (6-Min. Max Hold Werte) über die gesamte Messdauer beim Messstandort.
- **Max.-Wert:** Maximaler Wert aller gespeicherten Messwerte (6-Min. Max Hold Werte) über die gesamte Messdauer beim Messstandort.
- **Mittelwert:** Arithmetischer Mittelwert aller gespeicherten Messwerte (6-Min. Max Hold Werte) über die gesamte Messdauer beim Messstandort. Dies ergibt die mittlere Feldstärke.

$$\text{Mittelwert} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n E \quad \text{Formel 3}$$

wobei n die Anzahl gespeicherter 6-Min. Max Hold Werte ist.

- **Verhältnis Max/Mittelwert:** Dieses Verhältnis kann einen Hinweis zur Variabilität der Sende- richtung der adaptiven Antennen geben. Beim Vergleich einer adaptiven Antenne mit einer konventionellen Antenne ist ein kleineres Verhältnis zu erwarten, da aufgrund der veränderlichen Sende- richtung der Mittelwert kleiner wird.
- **Installierte Sendeleistung:** Installierte Sendeleistung des Sektors in welchem sich der Messstandort befindet.
- **Installierte Bandbreite:** Installierte Bandbreite im Sektor in welchem sich der Messstandort befindet.

In der zweiten Tabelle wird von den resultierenden Gesamtfeldstärken (braune Kurven E_{Res7} und E_{Res10} , siehe oben) der Minimalwert und der Maximalwert angegeben und zudem wird der arithmetische Mittelwert gebildet.

- Arithmetischer Mittelwert über alle E_{Res10} Werte (alle Bänder von 700 MHz bis 3.8 GHz):

$$\text{Mittelwert: } E_{Total} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n E_{Res10} \quad \text{Formel 4}$$

wobei n die Anzahl E_{Res10} Werte ist.

- Arithmetischer Mittelwert über alle E_{Res7} Werte (alle Bänder von 700 MHz bis 2.6 GHz, ohne die 3.6 – 3.8 GHz Bänder):

$$\text{Mittelwert: } E_{<3GHz} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n E_{Res7} \quad \text{Formel 5}$$

wobei n die Anzahl E_{Res7} Werte ist.

Die dritte Tabelle zeigt den Anteil der installierten Sendeleistung und den Anteil der installierten Bandbreite des Frequenzbandes >3GHz auf der Mobilfunkanlage:

$$\text{Anteil } > 3\text{GHz intallierte Sendeleistung} = \frac{P_{Inst>3GHz}}{P_{InstTotal}} \quad \text{Formel 6}$$

wobei $P_{Inst>3GHz}$ die installierte Sendeleistung [Werp] im Band >3GHz ist und $P_{InstTotal}$ die Summe der installierten Sendeleistungen [Werp] aller Frequenzbänder ist.

$$\text{Anteil } > 3\text{GHz an gesamter Bandbreite} = \frac{BW_{>3GHz}}{BW_{Total}} \quad \text{Formel 7}$$

wobei $BW_{>3GHz}$ die installierte Bandbreite im Band >3GHz ist und BW_{Total} die Summe der Bandbreiten aller installierten Frequenzbänder auf der Anlage ist.

3.2.2 KONI/BE173-1

Erster Messstandort: Nähe Parkplatz

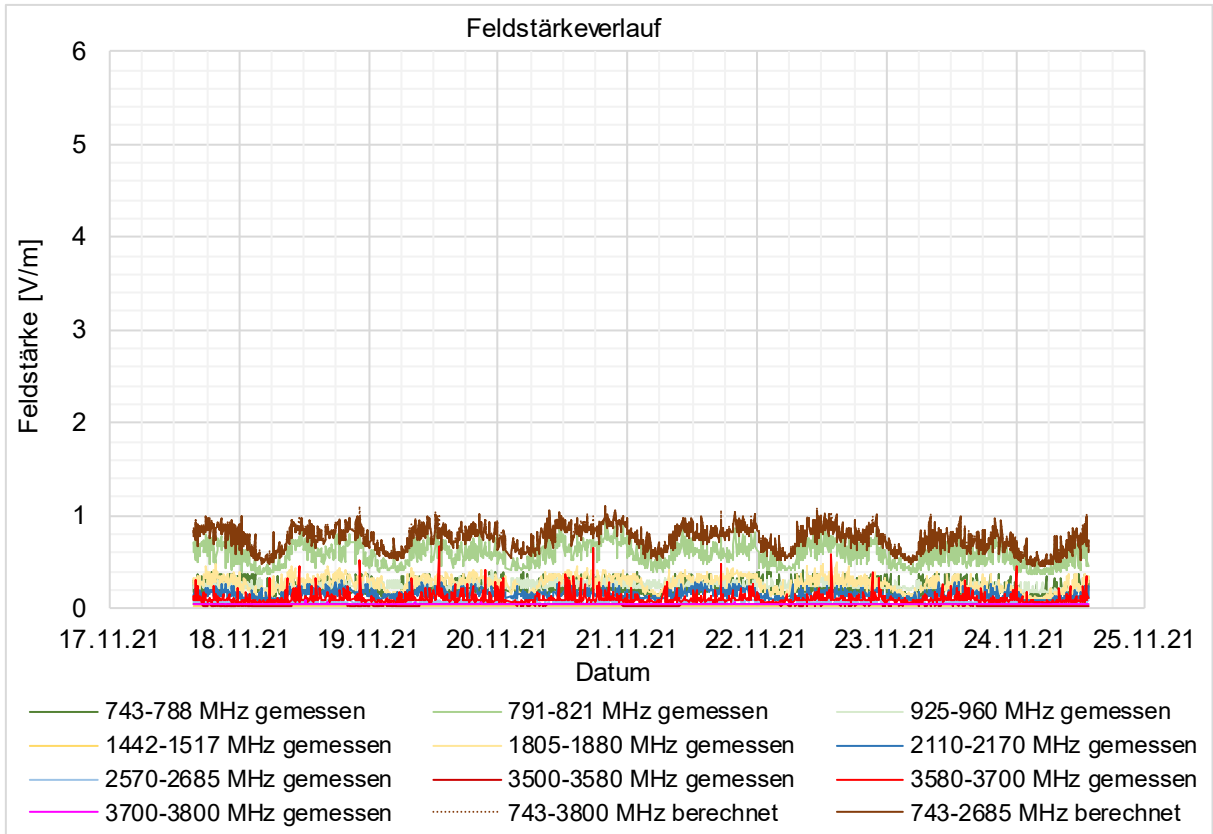


Abbildung 24: Messdiagramm Messstandort #1 Nähe Parkplatz (Einheitlicher Massstab)

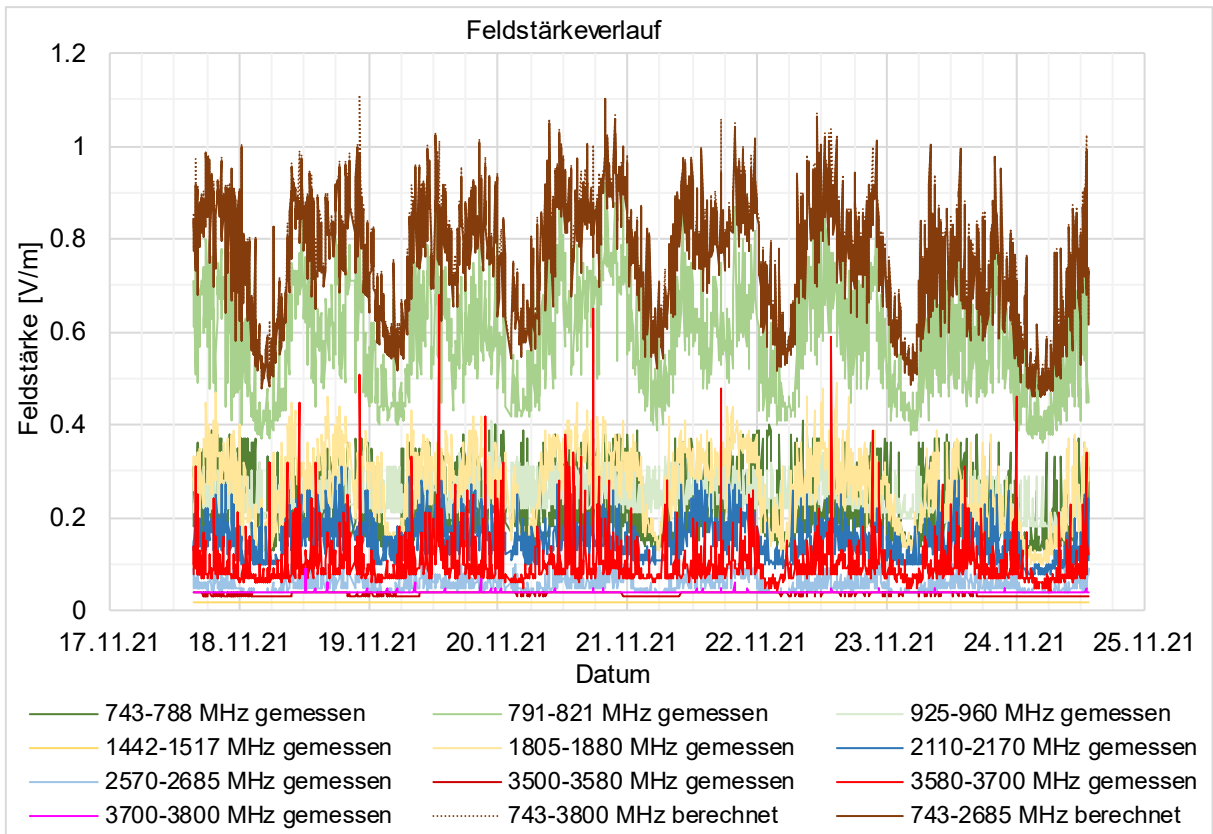


Abbildung 25: Messdiagramm Messstandort #1 Nähe Parkplatz (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.13	0.41	0.23	1.8	200	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.36	0.92	0.58	1.6	750	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.17	0.41	0.24	1.7	350	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.10	0.49	0.26	1.9	800	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.08	0.31	0.15	2.0	350	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.04	0.11	0.06	1.9	50	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.03	0.04	0.04			
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	0.68	0.10	6.6	750	120
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.09	0.04			

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei KON/BE173-1 aktiv

Tabelle 1: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #1 Nähe Parkplatz

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.47	1.11	0.76
743 - 2685 MHz	0.46	1.10	0.75

Tabelle 2: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #1 Nähe Parkplatz

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
23%	25%

Tabelle 3: Prozentuale Anteile Messstandort #1 Nähe Parkplatz

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Das dominante Frequenzband ist das 800 MHz-Band.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird grösstenteils vom dominanten 800 MHz-Band beeinflusst.
- Der Datenverkehr im 3.5 – 3.8 GHz-Band ist in diese Richtung nur sporadisch vorhanden und durch die vereinzelt Signalspitzen sichtbar.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 6.6 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 2 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich kaum (1.11 V/m resp. 1.10 V/m) und deren Mittelwerte sind fast identisch (0.76 V/m resp. 0.75 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.
- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.6 GHz-Band 25% der gesamten installierten Bandbreite ein.

- Für den 18.11.2021 zwischen 20:30 – 21:30 Uhr und den 20.11.2021 zwischen 01:30 – 02:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während diesen beiden Zeitspannen wurden korrupte Dateien erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnten. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Zweiter Messstandort: Dach Agroscope

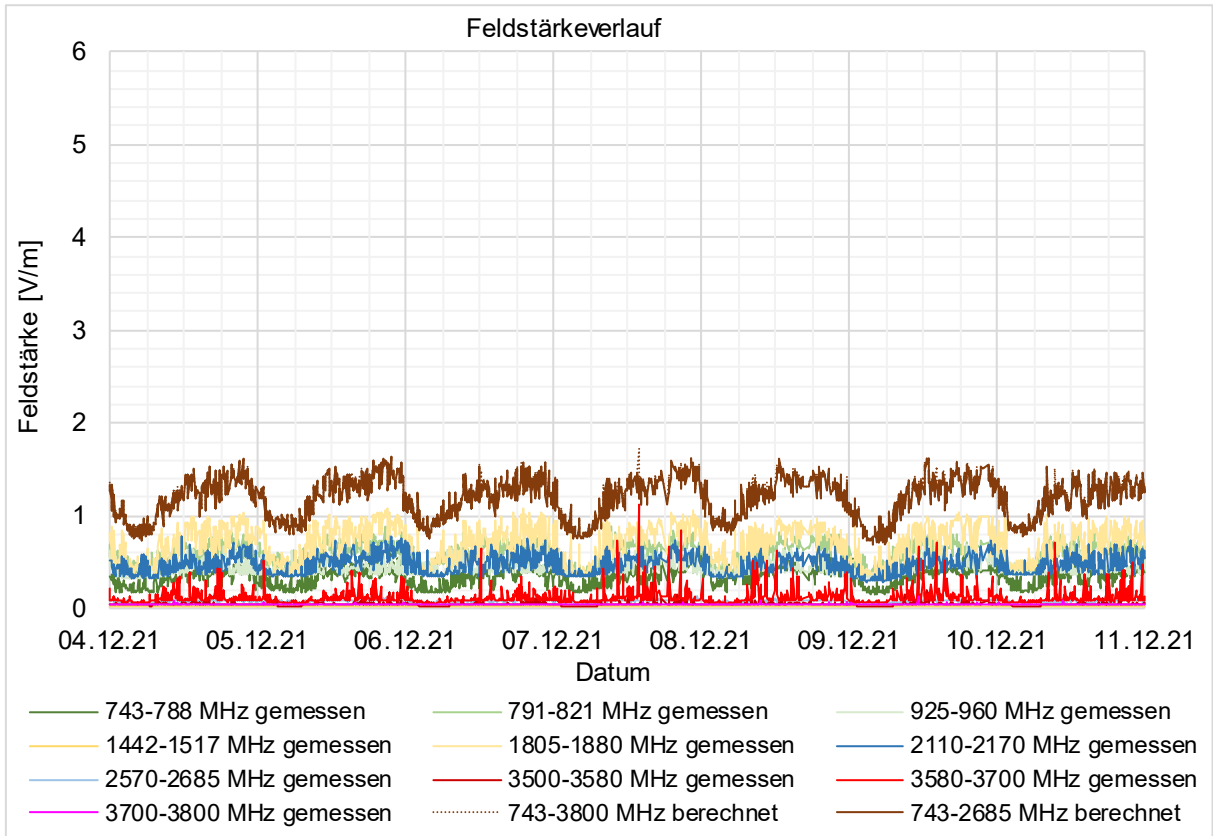


Abbildung 26: Messdiagramm Messstandort #2 Dach Agroscope (Einheitlicher Massstab)

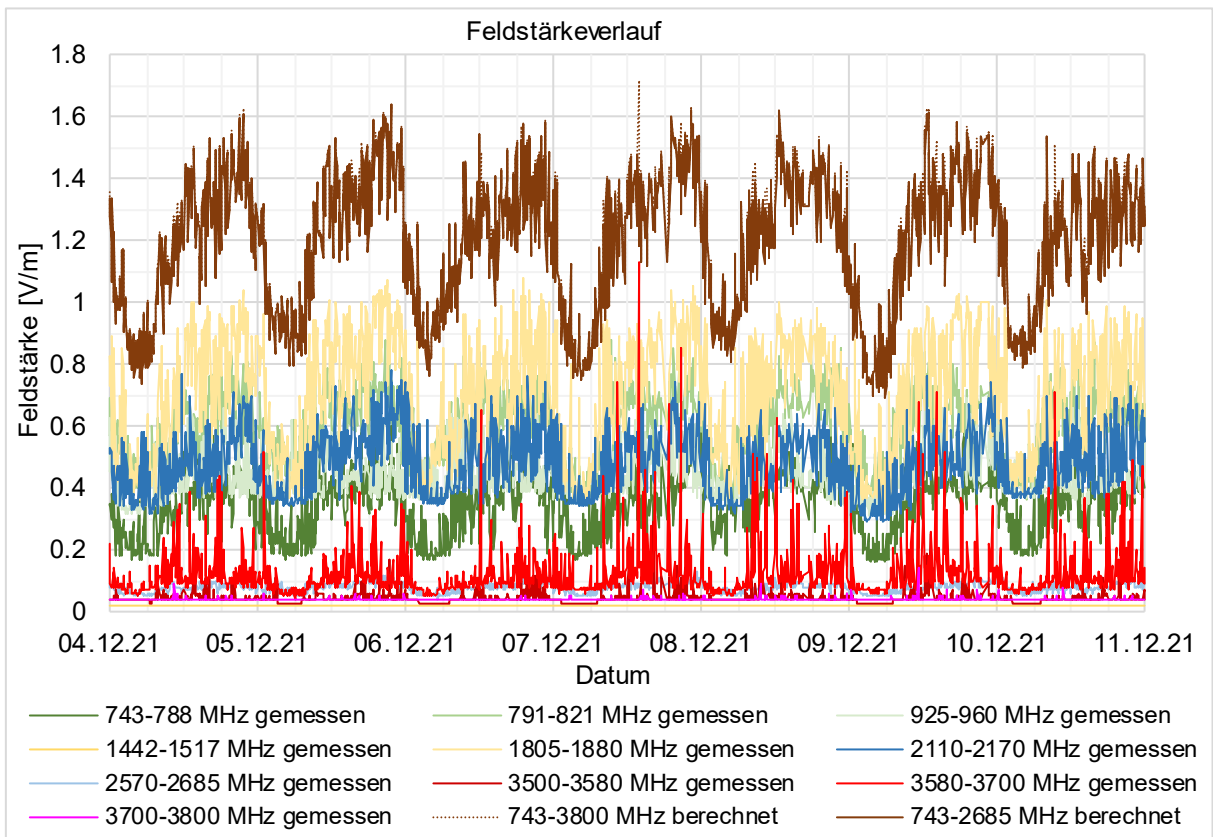


Abbildung 27: Messdiagramm Messstandort #2 Dach Agroscope (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.16	0.64	0.35	1.8	200	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.35	0.88	0.60	1.5	700	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.29	0.74	0.44	1.7	400	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.31	1.08	0.70	1.6	750	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.29	0.78	0.48	1.6	350	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.04	0.13	0.08	1.6	50	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.03	0.29	0.05	6.4		
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	1.13	0.12	9.2	750	120
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.14	0.04	3.4		

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei KON/BE173-1 aktiv

Tabelle 4: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #2 Dach Agroscope

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.69	1.72	1.20
743 - 2685 MHz	0.69	1.64	1.19

Tabelle 5: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #2 Dach Agroscope

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
23%	25%

Tabelle 6: Prozentuale Anteile Messstandort #2 Dach Agroscope

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Das dominante Frequenzband ist das 1800 MHz-Band.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird bei diesem Messstandort im Wesentlichen von mehreren Bändern beeinflusst.
- Im 3.5 – 3.8 GHz-Band ist in diese Richtung zahlreicher Datenverkehr gemessen worden, was eventuell auf die Lage bezüglich Endgeräte zurückzuführen ist.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 9.2 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 1.8.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 5 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Obwohl sich die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden (1.72 V/m resp. 1.64 V/m) sind deren Mittelwerte fast identisch (1.20 V/m resp. 1.19 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.
- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.6 GHz-Band 25% der gesamten installierten Bandbreite ein.

- Für den 07.12.2021 zwischen 17:30 – 18:30 Uhr, den 08.12.2021 zwischen 16:30 – 17:30 Uhr und den 09.12.2021 zwischen 21:30 – 22:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während diesen drei Zeitspannen wurden korrupte Dateien erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnten. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Dritter Messstandort: Dach Veloständer

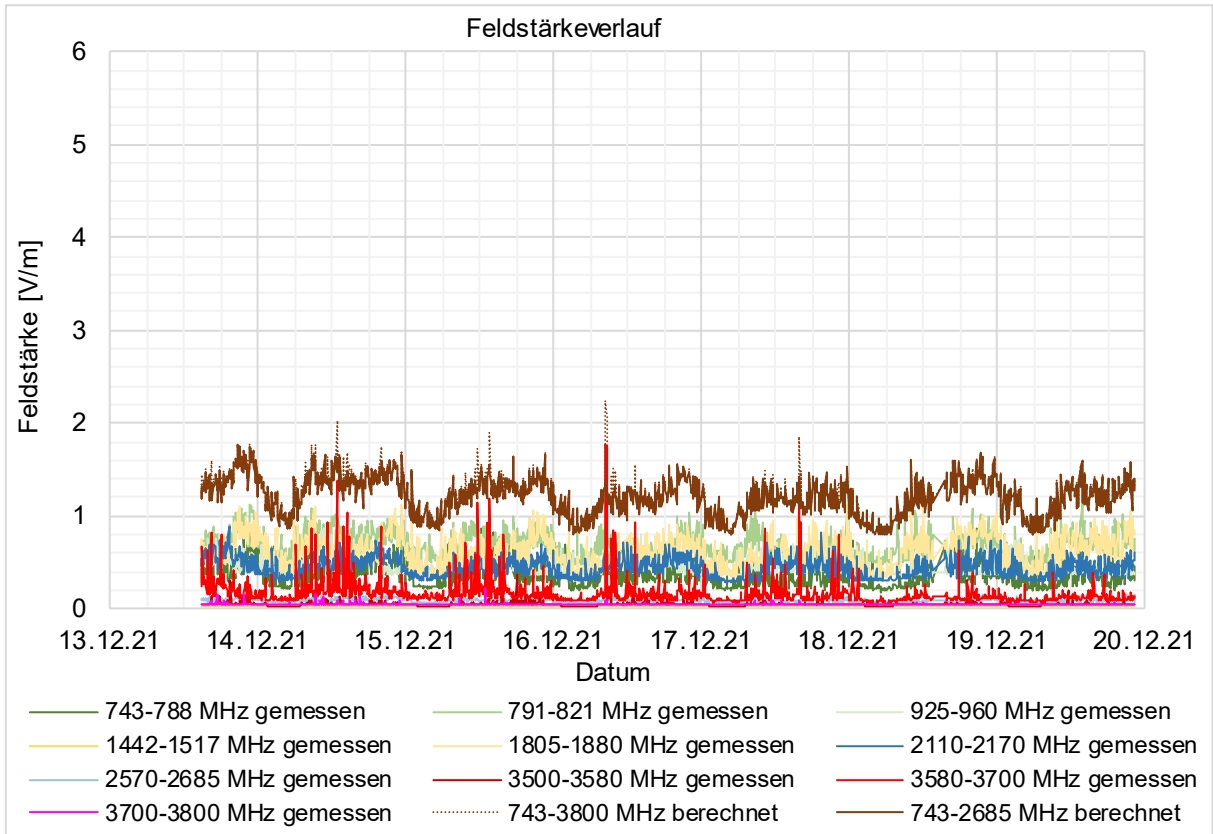


Abbildung 28: Messdiagramm Messstandort #3 Dach Veloständer (Einheitlicher Massstab)

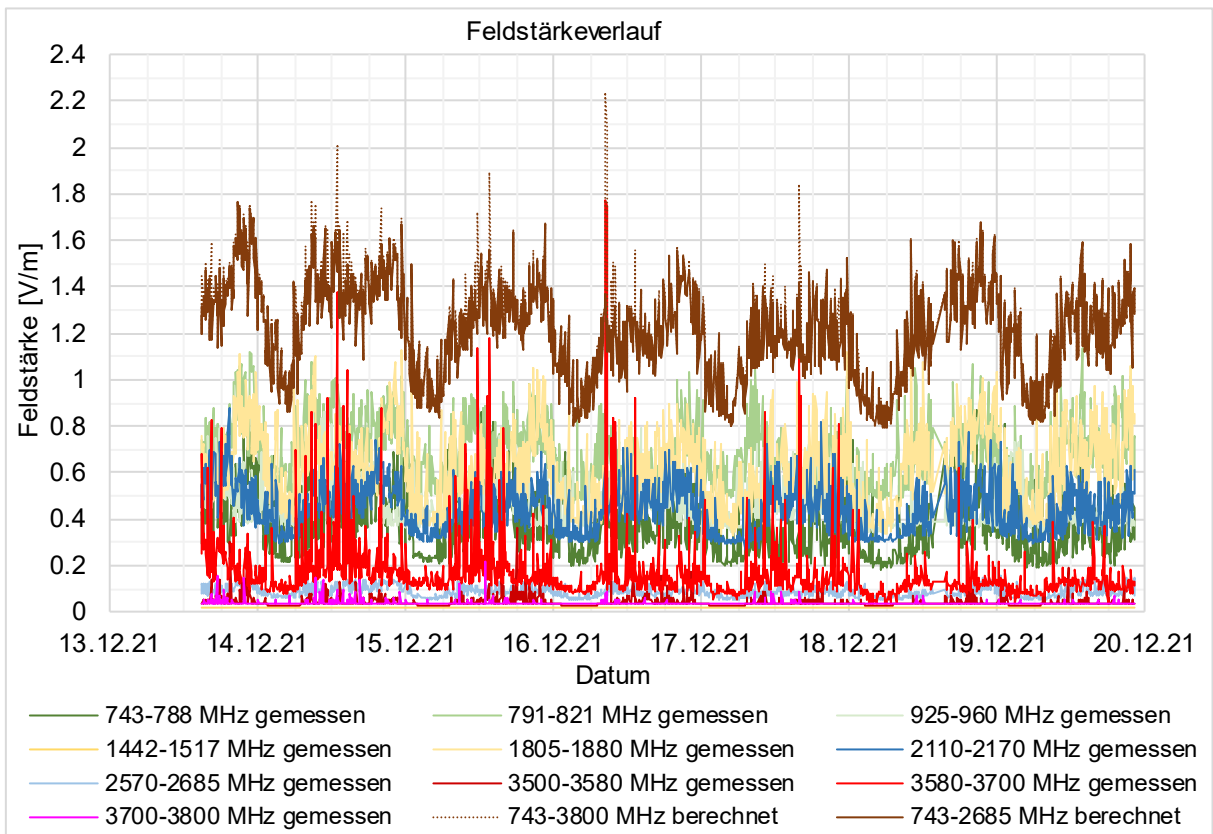


Abbildung 29: Messdiagramm Messstandort #3 Dach Veloständer (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.18	0.93	0.38	2.4	200	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.39	1.14	0.69	1.7	700	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.33	0.86	0.45	1.9	400	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.33	1.25	0.62	2.0	750	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.27	0.88	0.44	2.0	350	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.05	0.16	0.09	1.8	50	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.03	0.36	0.04	8.0		
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	1.77	0.17	10.5	750	120
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.22	0.04	5.3		

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei KON/BE173-1 aktiv

Tabelle 7: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #3 Dach Veloständer

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.79	2.24	1.23
743 - 2685 MHz	0.79	1.76	1.21

Tabelle 8: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #3 Dach Veloständer

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
23%	25%

Tabelle 9: Prozentuale Anteile Messstandort #3 Dach Veloständer

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Bei diesem Messstandort ist kein Frequenzband dominant.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird bei diesem Messstandort im Wesentlichen von mehreren Bändern beeinflusst.
- An den beiden Wochenendtagen (18.12. und 19.12.2021) sind in diese Richtung praktisch keine Signalspitzen im 3.5 – 3.8 GHz-Band aufgetreten währendem an den Arbeitswochentagen viel mehr Datenverkehr festzustellen ist.
- Bei diesem Messstandort sind die Signalspitzen im 3.5 – 3.8 GHz-Band deutlich sichtbar.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 10.5 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.4.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 8 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Obwohl sich die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden (2.24 V/m resp. 1.76 V/m) sind deren Mittelwerte fast identisch (1.23 V/m resp. 1.21 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.

- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.6 GHz-Band 25% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Für den 18.12.2021 zwischen 13:30 – 15:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während dieser Zeitspanne wurde eine korrupte Datei erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnte. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Vierter Messstandort: Nähe Bushaltestelle

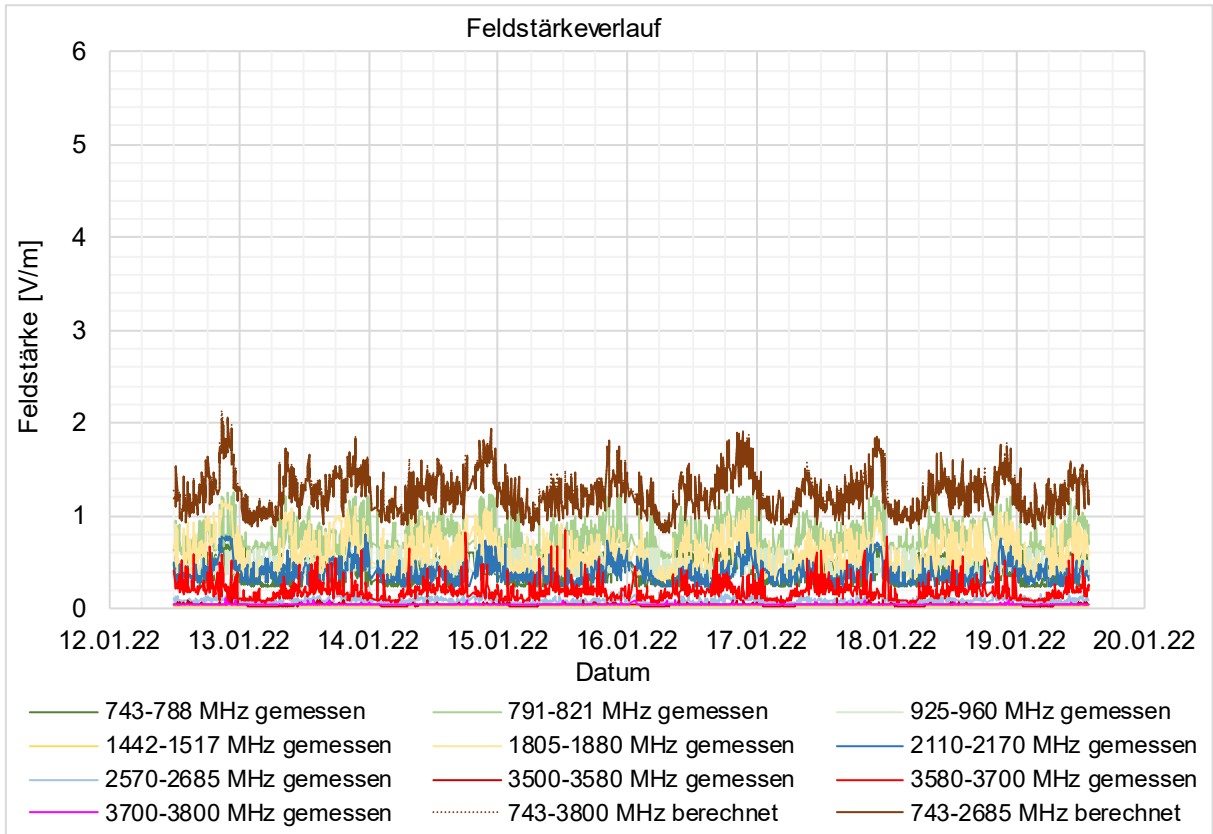


Abbildung 30: Messdiagramm Messstandort #4 Nähe Bushaltestelle (Einheitlicher Massstab)

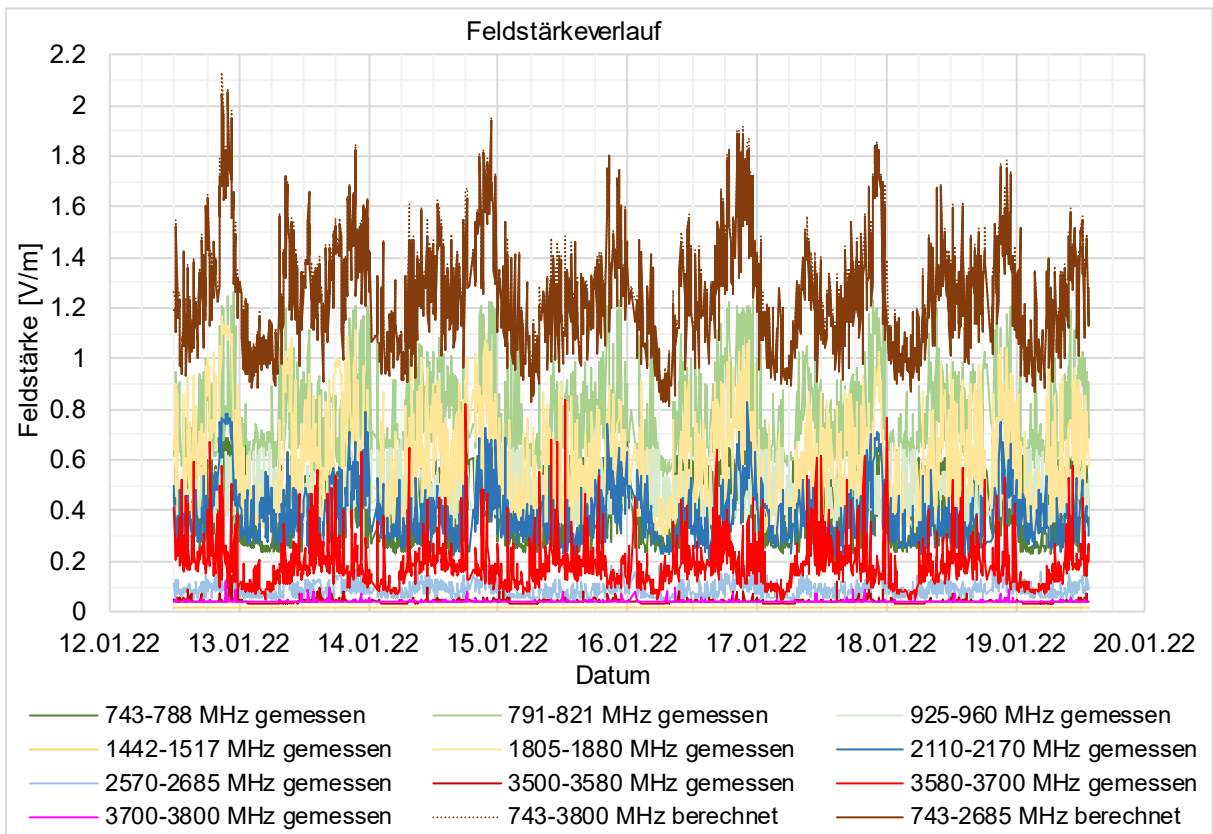


Abbildung 31: Messdiagramm Messstandort #4 Nähe Bushaltestelle (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.20	0.70	0.41	1.7	200	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.51	1.26	0.78	1.6	750	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.32	0.74	0.46	1.6	350	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.30	1.17	0.59	2.0	800	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.21	0.83	0.38	2.2	350	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.05	0.19	0.09	2.1	50	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.03	0.14	0.04	3.5		
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	0.84	0.19	4.5	750	120
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.12	0.04	2.9		

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei KON/BE173-1 aktiv

Tabelle 10: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #4 Nähe Bushaltestelle

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.82	2.13	1.26
743 - 2685 MHz	0.81	2.05	1.24

Tabelle 11: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #4 Nähe Bushaltestelle

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
23%	25%

Tabelle 12: Prozentuale Anteile Messstandort #4 Nähe Bushaltestelle

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Die dominanten Frequenzbänder sind das 800 MHz- und das 1800 MHz-Band.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird bei diesem Messstandort im Wesentlichen von mehreren Bändern beeinflusst.
- Bei diesem Messstandort tritt eine stattliche Anzahl von Signalspitzen im 3.5 – 3.8 GHz-Band auf.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 4.5 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.2.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 11 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Obwohl sich die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden (2.13 V/m resp. 2.05 V/m) sind deren Mittelwerte fast identisch (1.26 V/m resp. 1.24 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.
- Zu beobachten ist, dass jeweils in den Abendstunden die resultierende Gesamtfeldstärke den höchsten Wert erreicht. Eine Begründung könnte sein, dass in der Flucht dieses Messstandortes Wohnhäuser stehen und somit am Abend wenn die Leute zu Hause sind ein erhöhtes Datenverkehrsvolumen festzustellen ist.

- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.6 GHz-Band 25% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Für den 14.01.2022 zwischen 00:30 – 01:30 Uhr und 18:30 – 19:30 Uhr, den 16.01.2022 zwischen 00:30 – 01:30 Uhr wie auch den 18.01.2022 zwischen 18:30 – 19:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während diesen Zeitspannen wurden korrupte Dateien erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnten. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Fünfter Messstandort: Fassade Agroscope

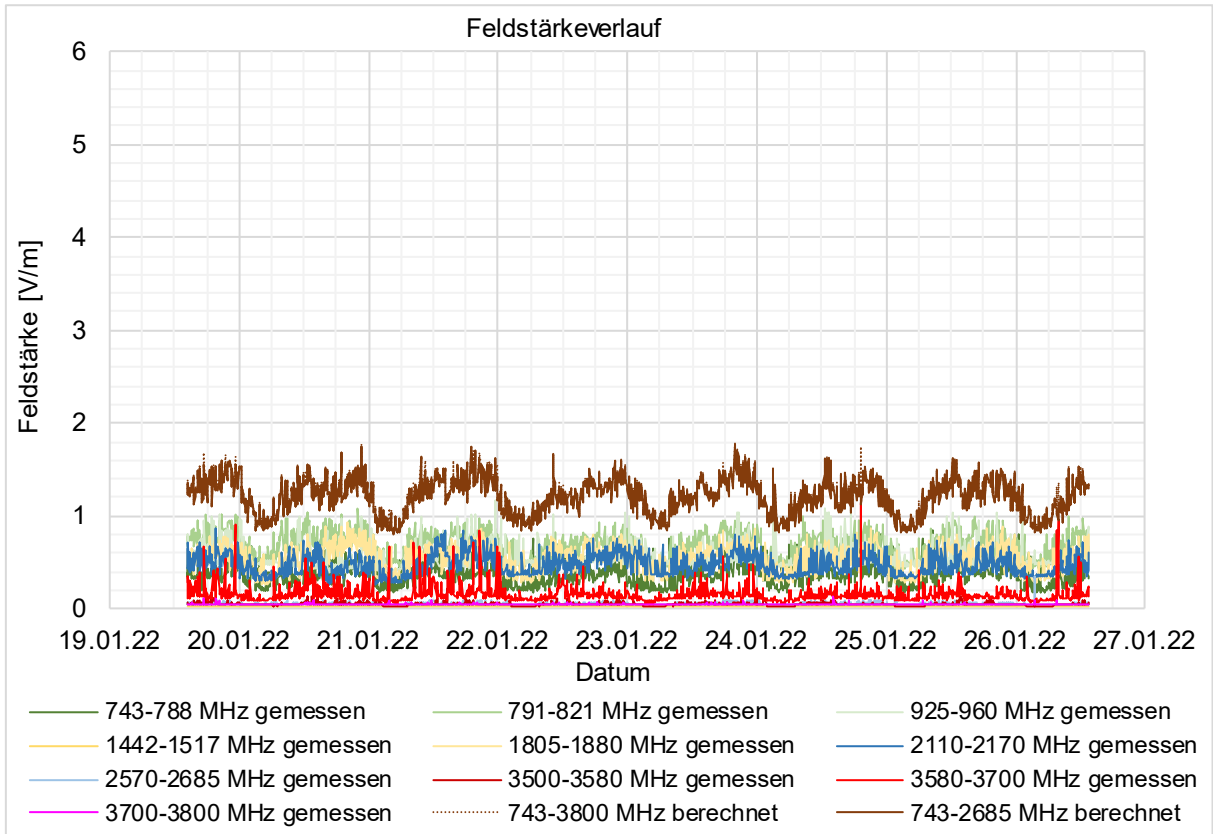


Abbildung 32: Messdiagramm Messstandort #5 Fassade Agroscope (Einheitlicher Massstab)

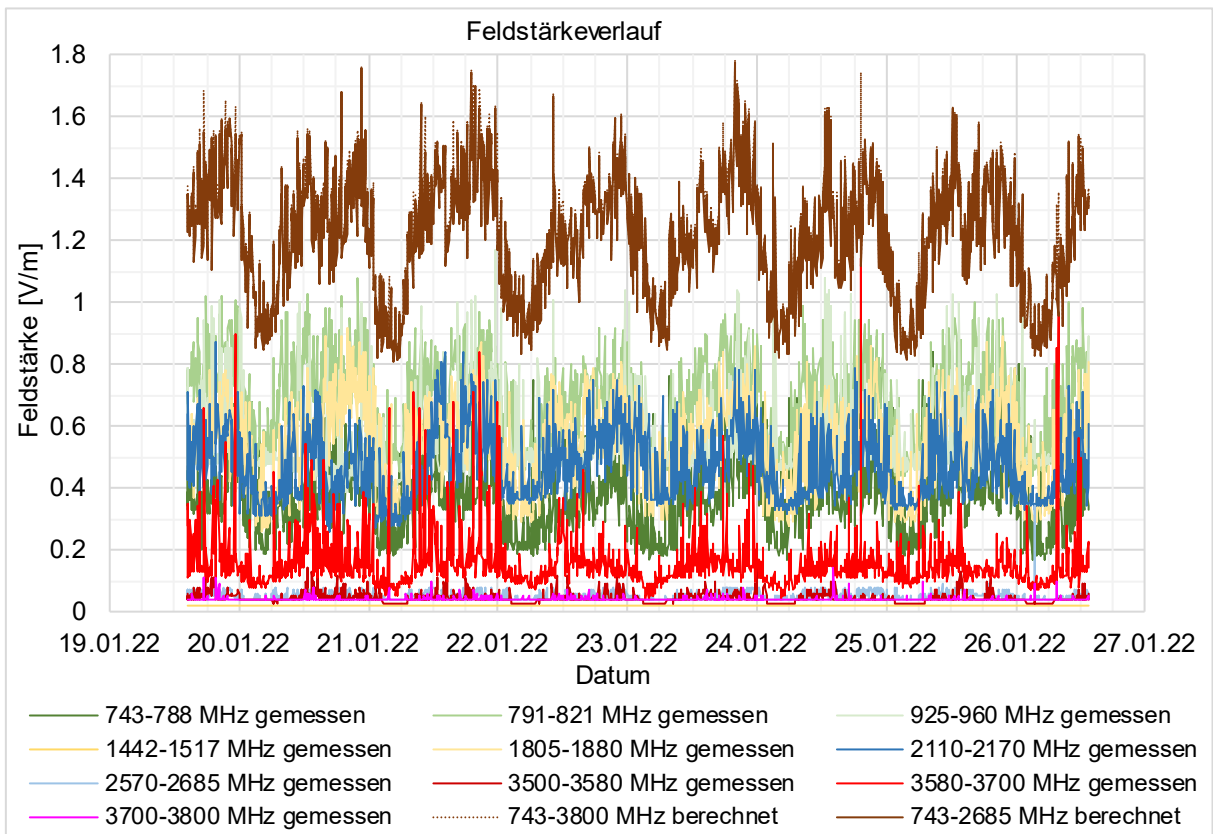


Abbildung 33: Messdiagramm Messstandort #5 Fassade Agroscope (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.17	0.84	0.37	2.2	200	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.44	1.08	0.68	1.6	700	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.39	1.17	0.54	2.2	400	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.26	0.92	0.54	1.7	750	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.26	0.87	0.47	1.9	350	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.04	0.34	0.05	6.7	50	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.03	0.21	0.04	4.7		
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	1.14	0.15	7.4	750	120
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.14	0.04	3.4		

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei KON/BE173-1 aktiv

** Das Verhältnis max/Mittel ist aufgrund eines einzelnen Peaks so gross und passt nicht zur konventionellen Antennentechnik. Bei diesem einzelnen Peak handelt es sich wohl um eine Interferenz oder einem Ausreisser der Messwerte.

Tabelle 13: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #5 Fassade Agroscope

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.81	1.78	1.22
743 - 2685 MHz	0.81	1.77	1.21

Tabelle 14: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #5 Fassade Agroscope

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
23%	25%

Tabelle 15: Prozentuale Anteile Messstandort #5 Fassade Agroscope

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Die dominanten Frequenzbänder sind das 800 MHz- und das 900 MHz-Band.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird bei diesem Messstandort im Wesentlichen von mehreren Bändern beeinflusst.
- Bei diesem Messstandort treten pro Tag eine sichtbar unterschiedliche Anzahl der Signalspitzen im 3.5 – 3.8 GHz-Band auf.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 7.4 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.2 ausser beim 2600 MHz-Band. Dort beträgt das Verhältnis max/Mittel aufgrund eines einzelnen Peaks 6.7. Dies ist infolge einer Interferenz, beziehungsweise eines Messwertausreissers, zu begründen und wird daher als nicht repräsentativ betrachtet.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 14 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich kaum (1.78 V/m resp. 1.77 V/m) und deren Mittelwerte sind fast identisch (1.22 V/m resp. 1.21 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.

- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.6 GHz-Band 25% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Für den 14.01.2022 zwischen 00:30 – 01:30 Uhr und 18:30 – 19:30 Uhr, den 16.01.2022 zwischen 00:30 – 01:30 Uhr wie auch den 18.01.2022 zwischen 18:30 – 19:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während dieser Zeitspanne wurden korrupte Dateien erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnten. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Sechster Messstandort: Atelier Bienenhaus

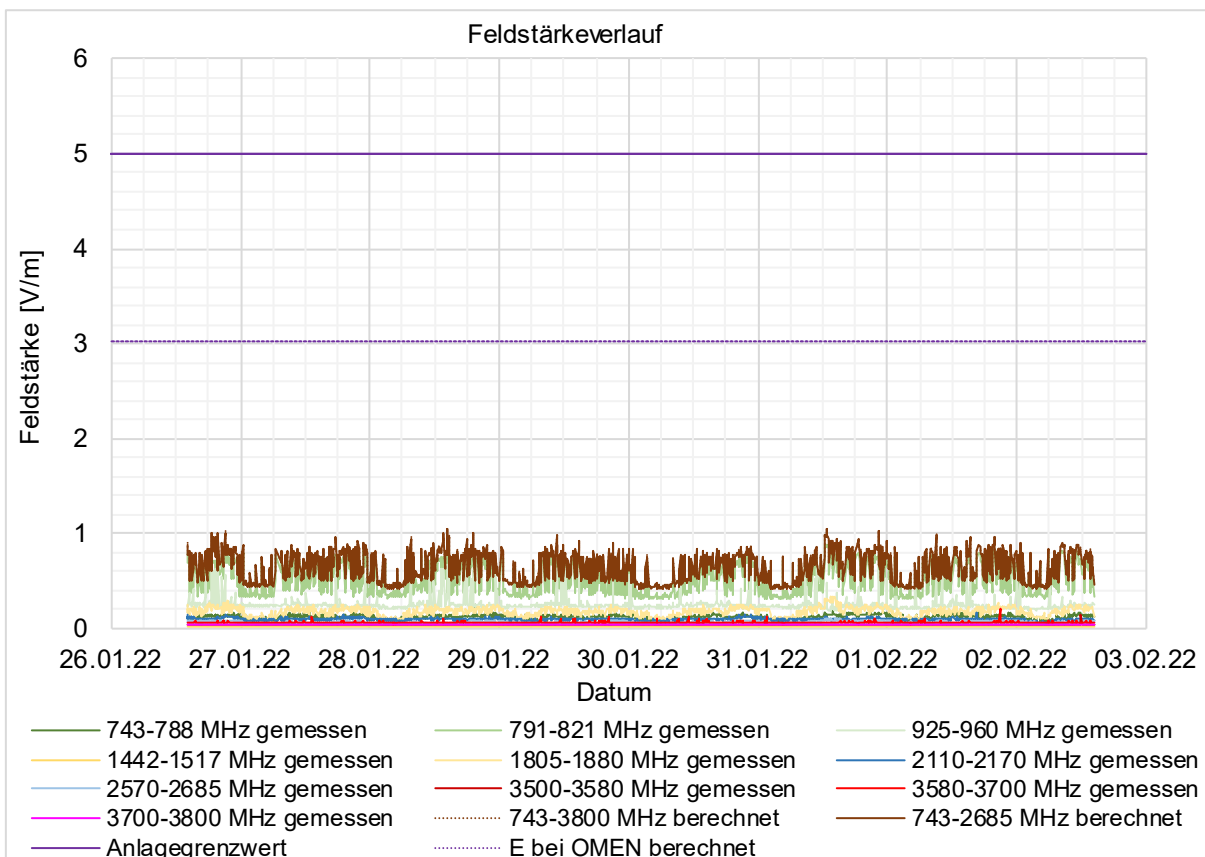


Abbildung 34: Messdiagramm Messstandort #6 Atelier Bienenhaus (Einheitlicher Masstab)

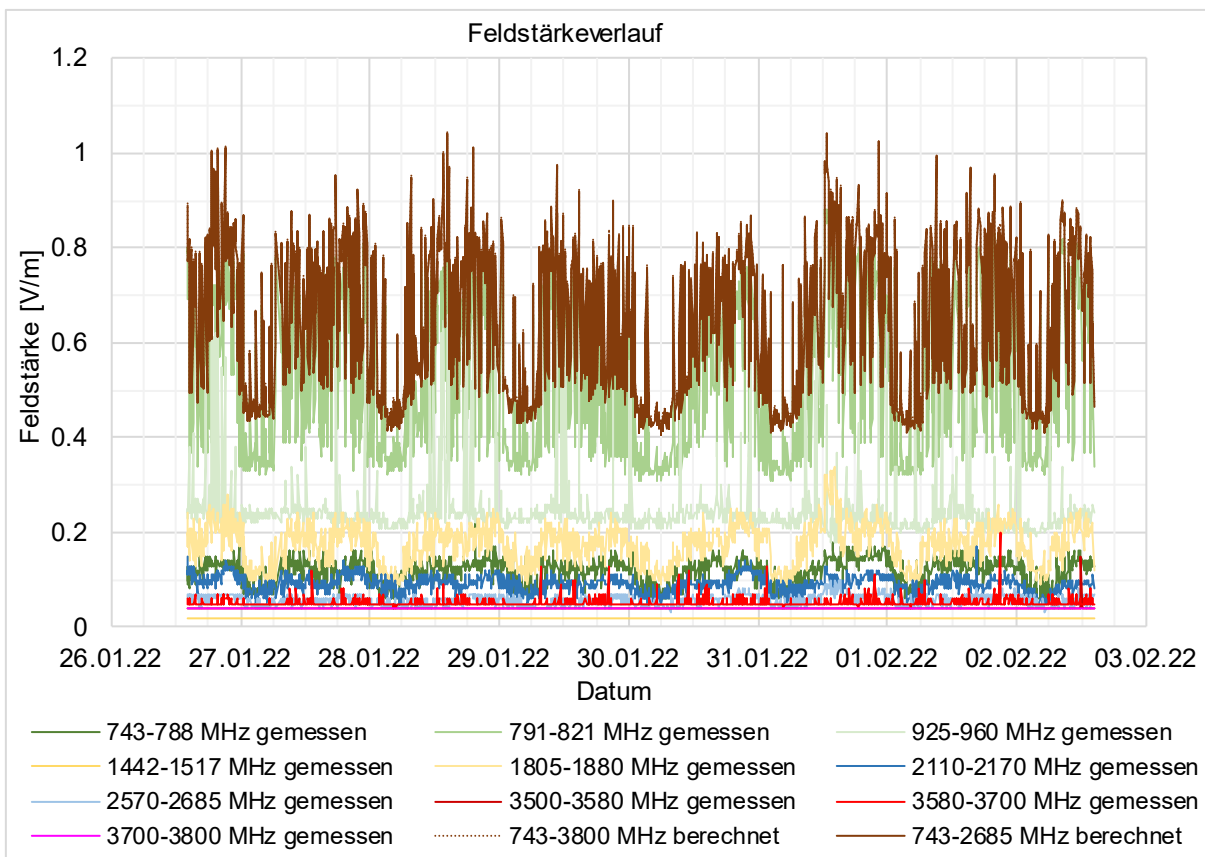


Abbildung 35: Messdiagramm Messstandort #6 Atelier Bienenhaus (Vergrößerter Masstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.06	0.24	0.12	2.0	250	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.31	0.88	0.53	1.7	700	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.18	0.66	0.25	2.7	400	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.09	0.34	0.18	1.9	750	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.05	0.17	0.09	1.9	450	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.03	0.10	0.06	1.8	50	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.04	0.15	0.04	3.7		
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	0.20	0.05	3.8	350	120
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.04	0.04			

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei KON/BE173-1 aktiv

** Das Verhältnis max/Mittel ist aufgrund eines einzelnen Peaks so gross und passt nicht zur konventionellen Antennentechnik. Bei diesem einzelnen Peak handelt es sich wohl um eine Interferenz oder einem Ausreisser der Messwerte.

Tabelle 16: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #6 Atelier Bienenhaus

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.41	1.05	0.64
743 - 2685 MHz	0.41	1.04	0.64

Tabelle 17: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #6 Atelier Bienenhaus

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
12%	25%

Tabelle 18: Prozentuale Anteile Messstandort #6 Atelier Bienenhaus

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Das dominante Frequenzband ist das 800 MHz-Band.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird grösstenteils vom dominanten 800 MHz-Band beeinflusst.
- Es ist praktisch kein Datenverkehr im 3.5 – 3.8 GHz-Band in diese Richtung gemessen worden.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 3.8 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.7. Dieser relativ kleine Unterschied kommt daher, dass an diesem Messstandort praktisch kein Datenverkehr im 3.5 – 3.8 GHz-Band gemessen wurde.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 17 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich kaum (1.05 V/m resp. 1.04 V/m) und deren Mittelwerte sind identisch (0.64 V/m resp. 0.64 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.

- Die resultierende Gesamtfeldstärke über alle vorhandenen Bänder übersteigt sehr selten und nur sehr gering die Feldstärke von 1 V/m. Es zeigt sich, dass die Gesamtfeldstärke jeder Zeit unter der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt von 3.02 V/m bleibt (OMEN Nummer 5).
- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.6 GHz-Band 25% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Die gesamte Messung wurde bei geschlossenem Fenster durchgeführt. Bei einer Abnahmemessung des OMENs müsste das Fenster während der Messung geöffnet sein.
- Für den 27.01.2022 zwischen 06:30 – 07:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während dieser Zeitspanne wurde eine korrupte Datei erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnte. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

3.2.3 AG008-1

Erster Messstandort: Innenraum Altes Schulhaus

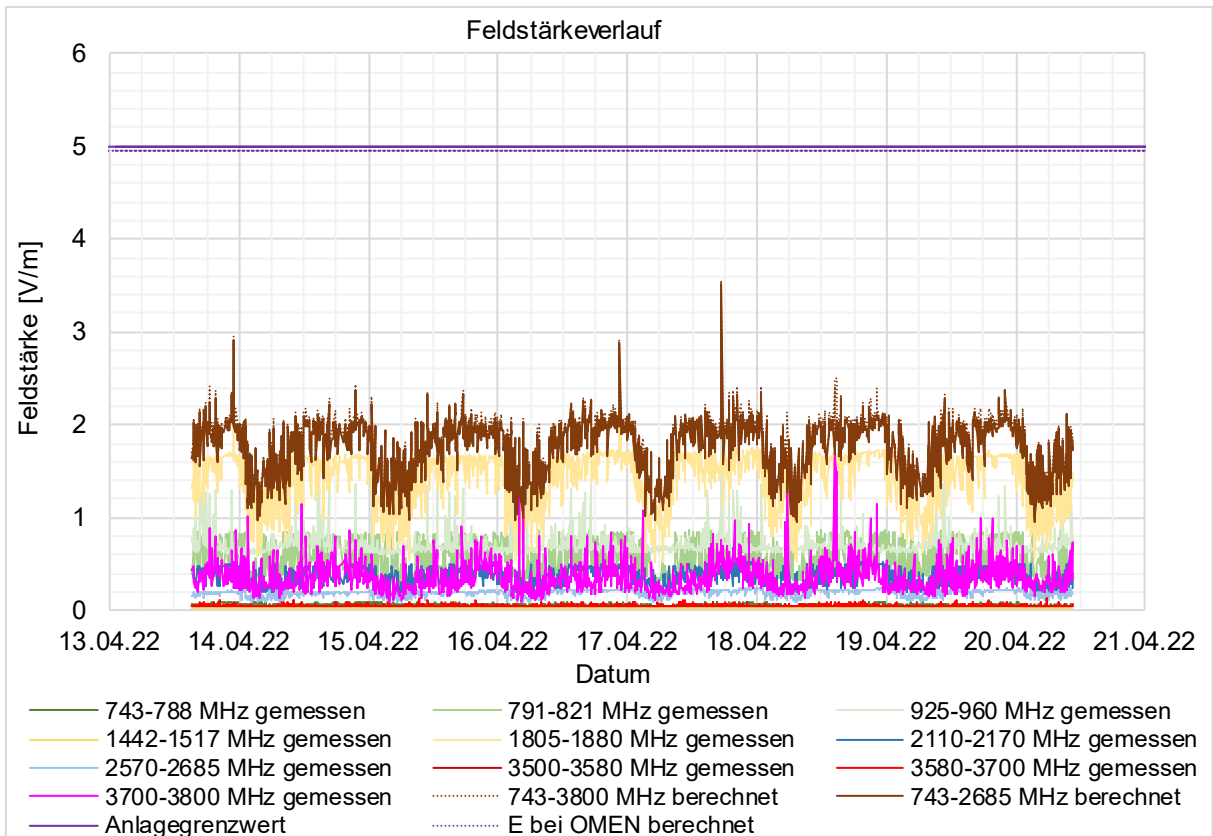


Abbildung 36: Messdiagramm Messstandort #1 Innenraum Altes Schulhaus (Einheitlicher Massstab)

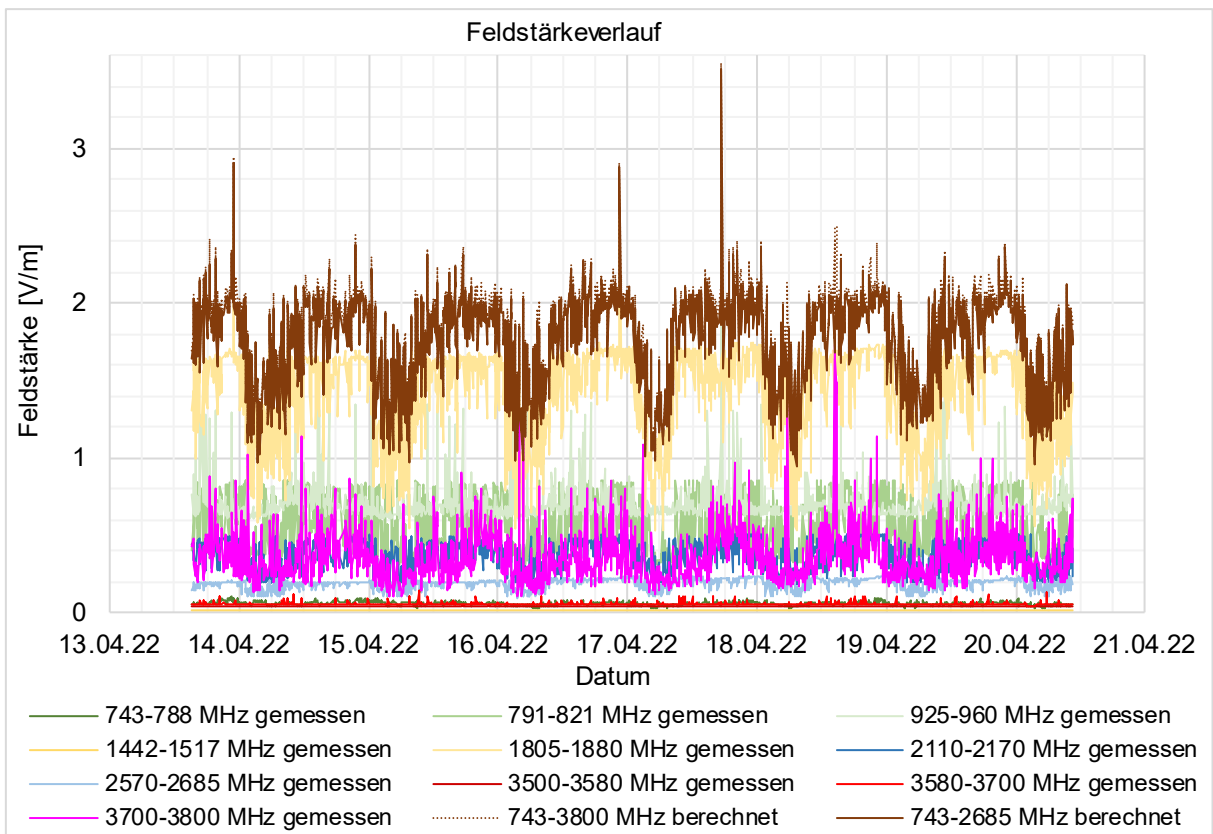


Abbildung 37: Messdiagramm Messstandort #1 Innenraum Altes Schulhaus (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.03	0.10	0.06	1.7		
791 - 821 MHz (Peak)	0.31	0.86	0.58	1.5	150	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.60	3.00	0.71	4.2	250	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.53	2.67	1.41	1.9	450	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.18	0.51	0.37	1.4	50	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.09	0.24	0.19	1.3	300	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.04	0.05	0.04			
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	0.14	0.05	2.6		
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.10	1.73	0.36	4.8	800	100

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei AG008-1 aktiv

** Das Verhältnis max/Mittel ist aufgrund eines einzelnen Peaks so gross und passt nicht zur konventionellen Antennentechnik. Bei diesem einzelnen Peak handelt es sich wohl um eine Interferenz oder einem Ausreisser der Messwerte.

Tabelle 19: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #1 Innenraum Altes Schulhaus

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.98	3.55	1.80
743 - 2685 MHz	0.94	3.51	1.75

Tabelle 20: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #1 Innenraum Altes Schulhaus

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
40%	24%

Tabelle 21: Prozentuale Anteile Messstandort #1 Innenraum Altes Schulhaus

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Das dominante Frequenzband ist das 1800 MHz-Band.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird grösstenteils vom dominanten 1800 MHz-Band beeinflusst.
- Der Datenverkehr im 3.5 – 3.8 GHz-Band in diese Richtung ist regelmässig vorhanden und durch die vereinzelt Signalspitzen sichtbar.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne mit einem Wert von 4.8 am Grössten. Dieses Verhältnis ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 1.9 ausser beim 900 MHz-Band. Dort beträgt das Verhältnis max/Mittel aufgrund eines einzelnen Peaks 4.2. Dies ist infolge einer Interferenz, beziehungsweise eines Messwertausreissers, zu begründen und wird daher als nicht repräsentativ betrachtet.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 20 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich nur marginal (3.55 V/m resp. 3.51 V/m) und deren Mittelwerte sind nur leicht unterschiedlich (1.80 V/m resp. 1.75 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven bis auf einige Signalspitzen fast deckungsgleich sind.

- Die resultierende Gesamtfeldstärke über alle vorhandenen Bänder übersteigt sehr selten die Feldstärke von 2.5 V/m und bleibt immer unter 3.6 V/m. Es zeigt sich, dass die Gesamtfeldstärke jeder Zeit unter der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt von 4.95 V/m bleibt (OMEN Nummer 5).
- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.7 GHz-Band 24% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Die gesamte Messung wurde bei geschlossenem Fenster durchgeführt. Bei einer Abnahmemessung des OMENs müsste das Fenster während der Messung geöffnet sein.
- Für den 14.04.2022 zwischen 17:30 – 18:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während dieser Zeitspanne wurde eine korrupte Datei erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnte. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Zweiter Messstandort: Dach Aula

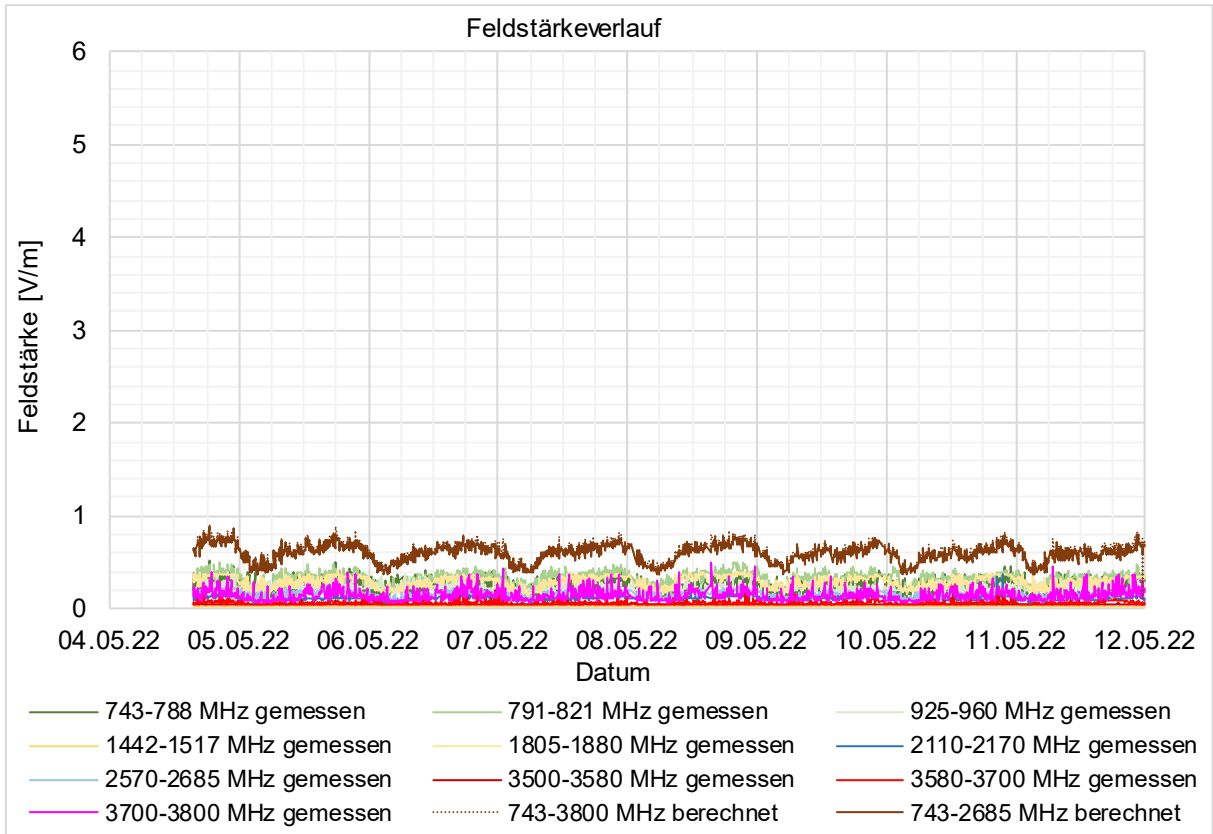


Abbildung 38: Messdiagramm Messstandort #2 Dach Aula (Einheitlicher Massstab)

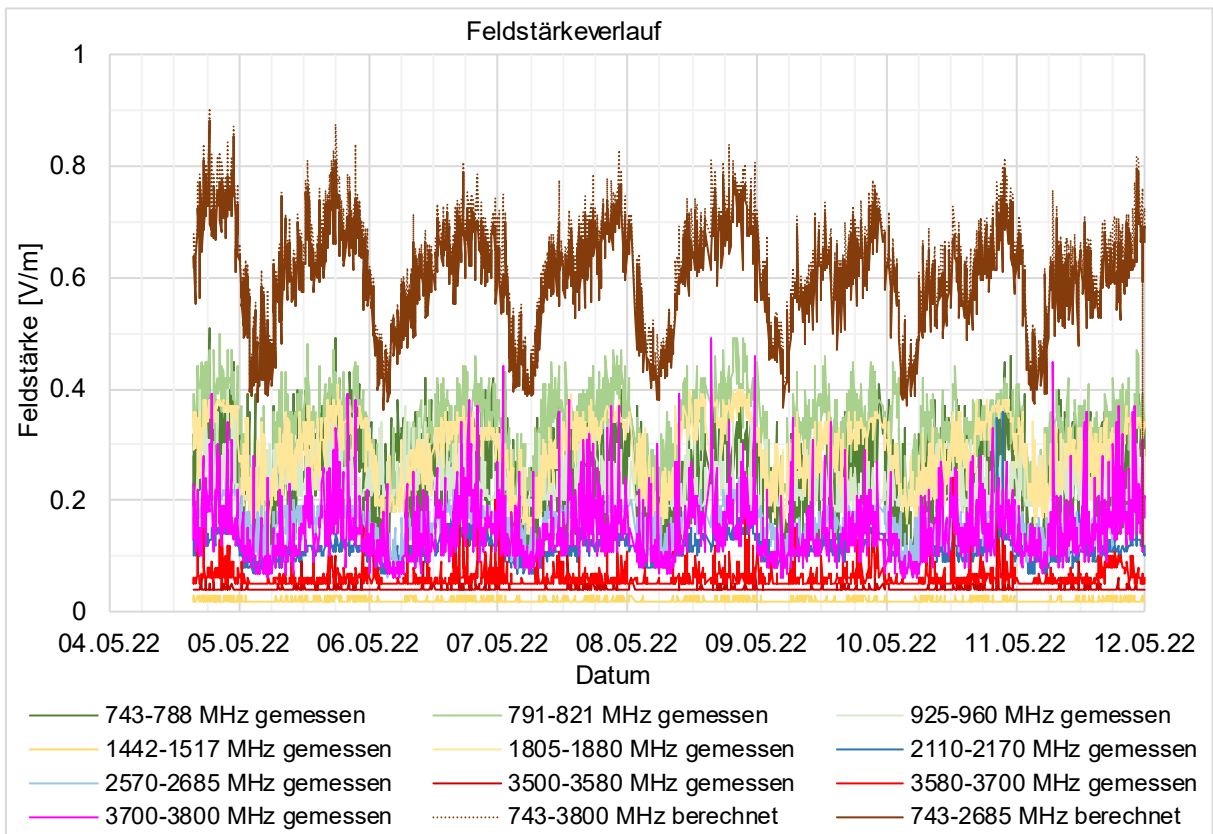


Abbildung 39: Messdiagramm Messstandort #2 Dach Aula (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.11	0.51	0.25	2.0		
791 - 821 MHz (Peak)	0.18	0.50	0.33	1.5	150	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.17	0.40	0.23	1.7	250	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.03	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.14	0.41	0.29	1.4	450	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.07	0.36	0.11	3.2	50	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.06	0.24	0.16	1.5	300	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.04	0.17	0.04	4.1		
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.05	0.24	0.06	3.9		
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.06	0.49	0.15	3.3	800	100

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei AG008-1 aktiv

** Das Verhältnis max/Mittel ist aufgrund eines einzelnen Peaks so gross und passt nicht zur konventionellen Antennentechnik. Bei diesem einzelnen Peak handelt es sich wohl um eine Interferenz oder einen Ausreisser der Messwerte.

Tabelle 22: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #2 Dach Aula

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.38	0.91	0.62
743 - 2685 MHz	0.36	0.88	0.60

Tabelle 23: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #2 Dach Aula

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite und an der resultierenden Gesamtfeldstärke:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
40%	24%

Tabelle 24: Prozentuale Anteile Messstandort #2 Dach Aula

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Es ist kein dominantes Frequenzband auszumachen.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird von verschiedenen Frequenzbändern ähnlich stark beeinflusst.
- Der Datenverkehr im 3.5 – 3.8 GHz-Band in diese Richtung ist vorhanden und durch die vereinzelt Signalspitzen sichtbar.
- Das Verhältnis max/Mittel ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.0 ausser beim 2.1 GHz-Band, bei welchem es 3.2 ist. Dies ist auf einige wenige Signalspitzen bei tiefem Mittelwert zurückzuführen. Beim 3.5 – 3.8 GHz-Band von Sunrise beträgt dieses Verhältnis 3.3.
Am Grössten ist dieses Verhältnis mit 4.1 im 3.5 – 3.8 GHz-Band, wobei es sich um ein Frequenzband von der nahegelegenen Salt-Mobilfunkstation handelt.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 23 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich kaum (0.91 V/m resp. 0.88 V/m) und deren Mittelwerte sind fast identisch (0.62 V/m resp. 0.60 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.

- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.7 GHz-Band 24% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Für den 08.05.2022 zwischen 00:30 – 01:30 Uhr und 14:30 – 15:30 Uhr sowie den 09.05.2022 zwischen 22:30 – 23:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während diesen beiden Zeitspannen wurden korrupte Dateien erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnten. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

3.2.4 ZH_2440A

Erster Messstandort: Berufsfachschule Schulzimmer G401

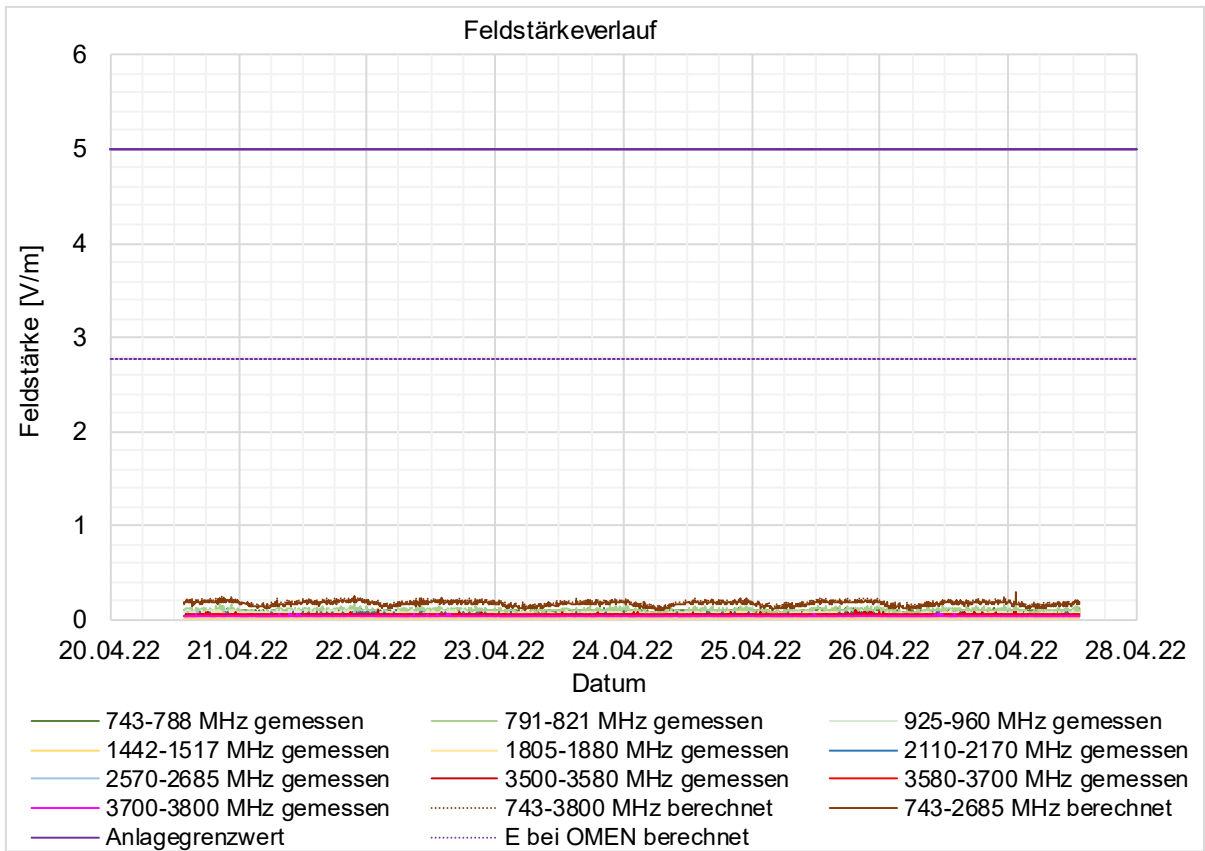


Abbildung 40: Messdiagramm Messstandort #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401 (Einheitlicher Massstab)

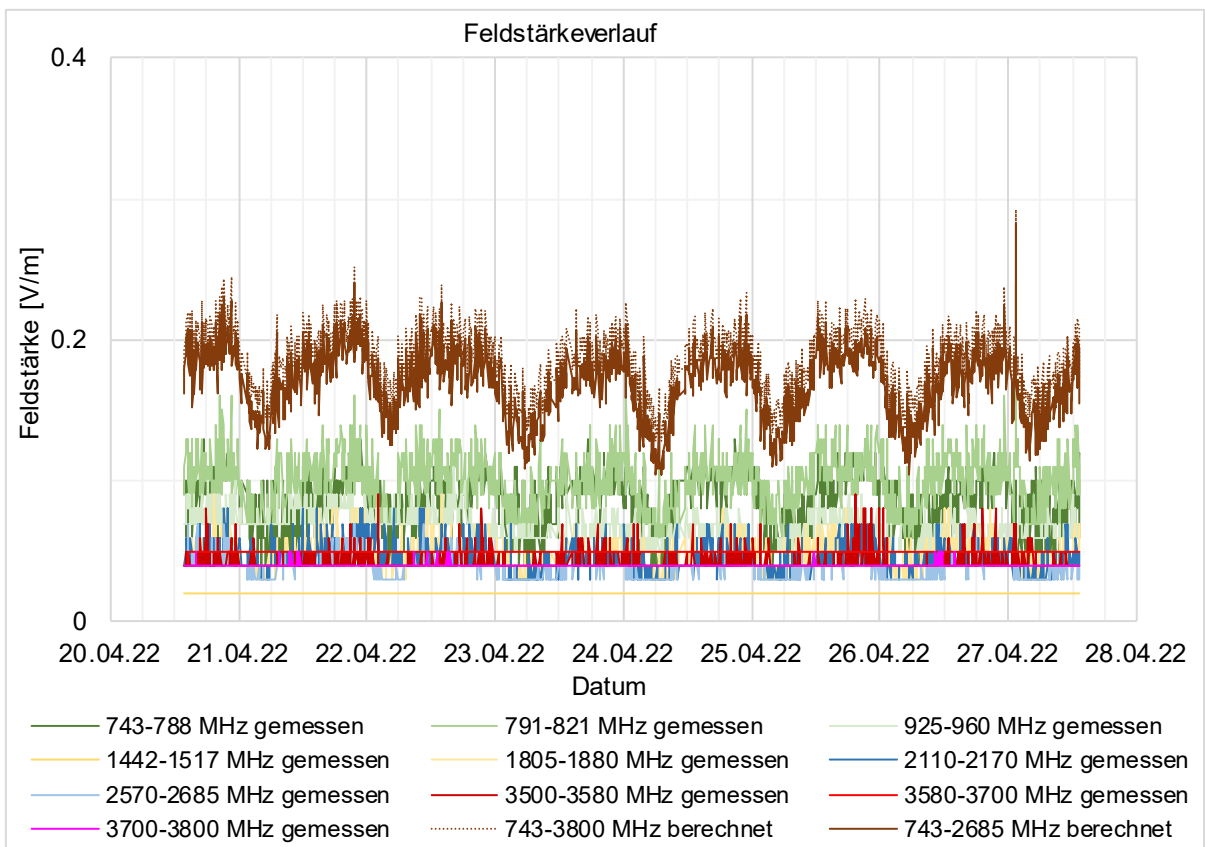


Abbildung 41: Messdiagramm Messstandort #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401 (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]
743 - 788 MHz (Peak)	0.04	0.13	0.09	1.5	100	45
791 - 821 MHz (Peak)	0.06	0.24	0.10	2.4	200	30
925 - 960 MHz (Peak)	0.05	0.11	0.07	1.6	300	35
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02			
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.03	0.09	0.05		500	75
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.03	0.08	0.05		850	60
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.03	0.07	0.04		500	115
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.04	0.09	0.04		300	80
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	0.05	0.05			
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.04	0.05	0.04			

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei ZH_2440A aktiv

Tabelle 25: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.13	0.29	0.19
743 - 2685 MHz	0.10	0.28	0.17

Tabelle 26: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
11%	18%

Tabelle 27: Prozentuale Anteile Messstandort #1 Berufsfachschule Schulzimmer G401

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Die gemessenen Feldstärken sind unerwartet klein an diesem Messstandort. Dies ergibt den Verdacht, dass die Fensterscheiben über einen Metallfilm verfügen, der die elektromagnetische Strahlung stark dämpft.
- Es ist kein dominantes Frequenzband auszumachen.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird von verschiedenen Frequenzbändern ähnlich stark beeinflusst.
- Es ist praktisch kein Datenverkehr im 3.5 – 3.8 GHz-Band in diese Richtung gemessen worden. Die höheren Frequenzen scheinen besonders stark absorbiert zu sein.
- Das Verhältnis max/Mittel ist beim 3.5 – 3.8 GHz-Band der adaptiven Antenne nicht berechnet worden, da die Maximalwerte unterhalb der Rauschgrenze von 0.1 V/m liegen.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärken in Tabelle 26 ist der Anteil der adaptiven Antenne fast nicht erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich kaum (0.29 V/m resp. 0.28 V/m) und deren Mittelwerte sind nur leicht unterschiedlich (0.19 V/m resp. 0.17 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven fast deckungsgleich sind.

- Die resultierende Gesamtfeldstärke über alle vorhandenen Bänder übersteigt sehr selten und nur sehr gering die Feldstärke von 0.25 V/m. Es zeigt sich, dass die Gesamtfeldstärke jeder Zeit unter der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt von 2.77 V/m bleibt (OMEN Nummer 9).
- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.5 GHz-Band 18% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Die gesamte Messung wurde bei geschlossenem Fenster durchgeführt. Bei einer Abnahmemessung des OMENs müsste das Fenster während der Messung geöffnet sein.
- Für den 21.04.2022 zwischen 00:30 – 01:30 Uhr, den 23.04.2022 zwischen 10:30 – 11:30 Uhr und 13:30 – 14:30 und den 24.04.2022 zwischen 10:30 – 11:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während dieser Zeitspanne wurden korrupte Dateien erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnten. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

Zweiter Messstandort: Berufsfachschule Druckerraum

Das Ziel von der kurzen Messung bei diesem Messstandort war es, herauszufinden warum die Messwerte bei der Messung am ersten Messstandort im Schulzimmer G401 so schwach waren. Die Vermutung bestand, dass die Fenster bei der Berufsfachschule Winterthur einen Grossteil der elektromagnetischen Wellen dämpfen, da sie möglicherweise mit einer sehr dünnen reflektierenden Metallschicht bedampft sind.

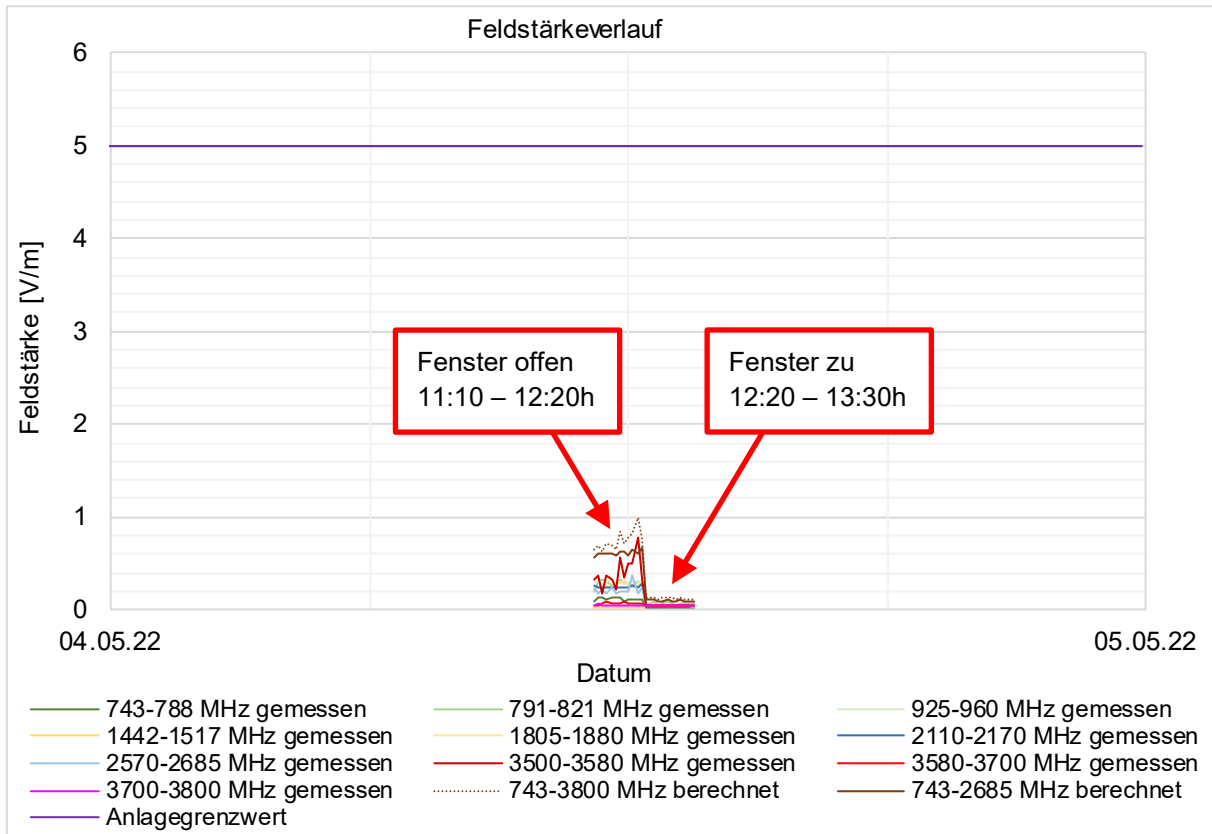


Abbildung 42: Messdiagramm Messstandort #2 Berufsfachschule Druckerraum

Erkenntnisse der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Bei offenem Fenster sind die Messwerte um ca. einen Faktor 10 höher als bei geschlossenem Fenster.
- Die Messwerte bei geschlossenem Fenster sind so klein, dass eine Auswertung nicht möglich ist.
- Dies ist die Bestätigung, dass die Fenster die elektromagnetischen Wellen bei der Berufsfachschule Winterthur fast vollständig dämpfen. Daher sagt die Messung beim ersten Messstandort im Schulzimmer G401 nur aus, dass in den Schulzimmern praktisch keine elektromagnetische Feldstärke vorhanden ist.
- Eine Langzeitmessung bei der Berufsfachschule mit offenem Fenster über eine Woche ist nicht realisierbar.

Dritter Messstandort: Dach Firma Hasler

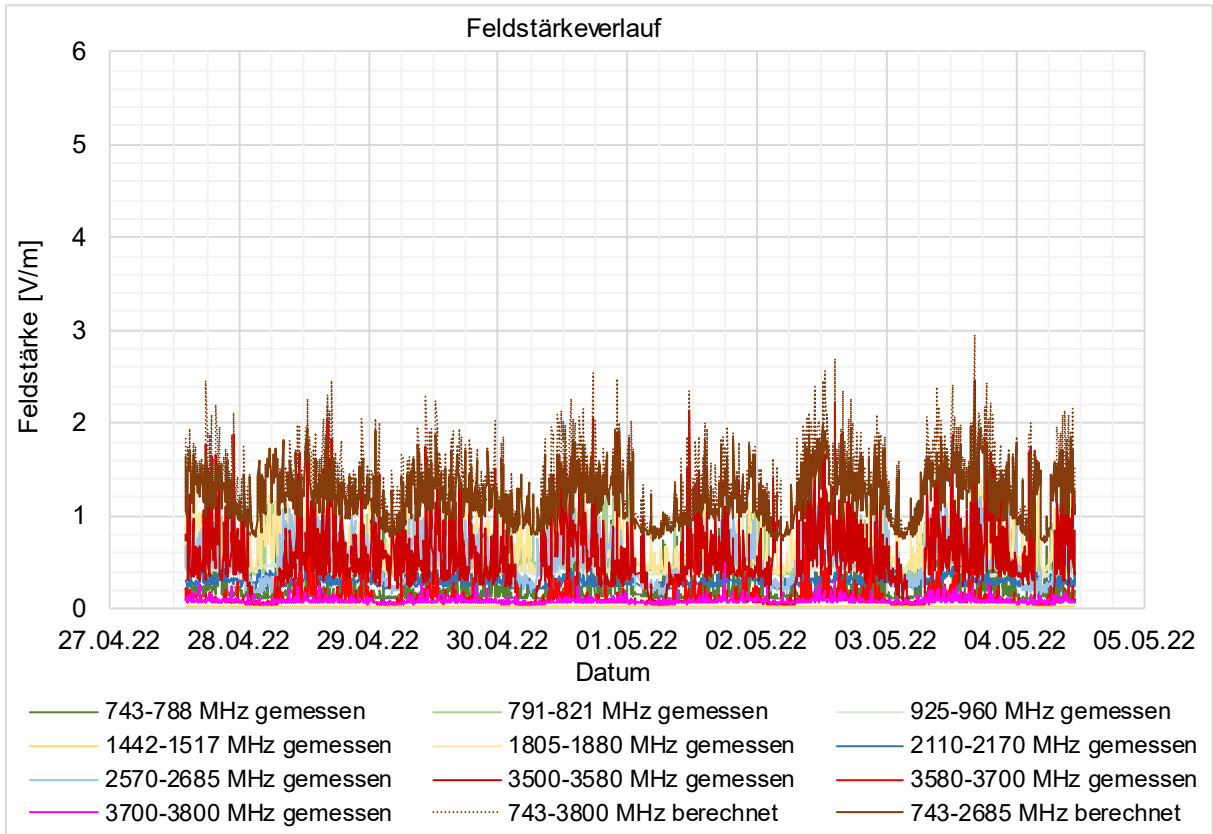


Abbildung 43: Messdiagramm Messstandort #3 Dach Firma Hasler (Einheitlicher Massstab)

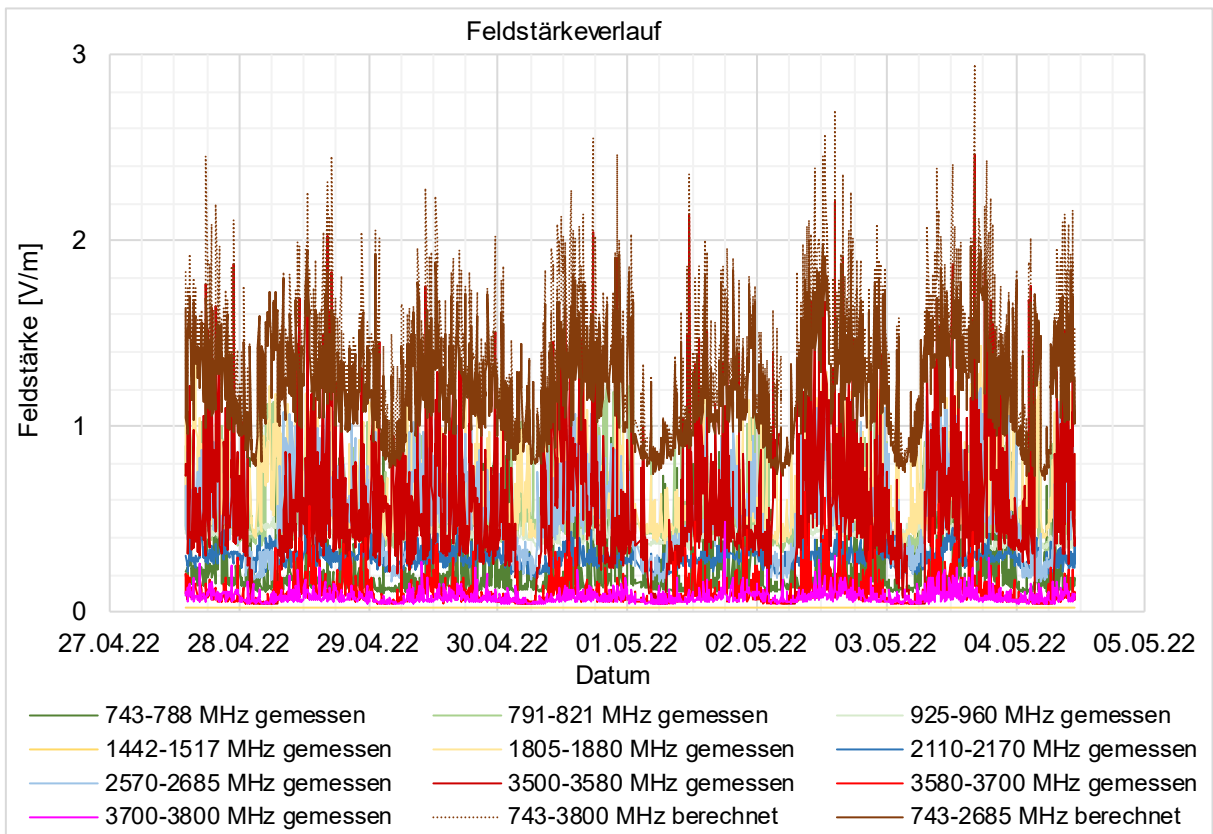


Abbildung 44: Messdiagramm Messstandort #3 Dach Firma Hasler (Vergrößerter Massstab)

Grössen der ausgeführten Messung:

Frequenzband	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]	Verhältnis max/Mittel	Installierte Sendeleistung [Werp]	Installierte Bandbreite [MHz]	
743 - 788 MHz (Peak)	0.10	1.00	0.23	4.4	300	45	* / **
791 - 821 MHz (Peak)	0.33	1.29	0.58	2.2	300	30	*
925 - 960 MHz (Peak)	0.34	0.87	0.42	2.1	400	35	*
1442 - 1517 MHz (Peak)	0.02	0.02	0.02				
1805 - 1880 MHz (Peak)	0.36	1.43	0.65	2.2	600	75	*
2110 - 2170 MHz (Peak)	0.19	0.47	0.29	1.6	850	60	*
2570 - 2685 MHz (Peak)	0.16	1.21	0.53	2.3	600	115	*
3500 - 3580 MHz (Peak)	0.04	2.46	0.56	4.4	400	80	*
3580 - 3700 MHz (Peak)	0.04	0.65	0.11	5.9			
3700 - 3800 MHz (Peak)	0.05	0.49	0.08	5.8			

Rauschgrenze, unterhalb diesem Maximalwert wird kein Verhältnis berechnet [V/m]: 0.1

* Frequenzbänder bei ZH_2440A aktiv

** Das Verhältnis max/Mittel ist aufgrund von kurzzeitigem, wiederholtem und grossem Traffic zu erklären.

Tabelle 28: Gemessene Frequenzbänder Messstandort #3 Dach Firma Hasler

Aus den gemessenen Feldstärken der einzelnen Bänder kann die resultierende Gesamtfeldstärke berechnet werden:

Frequenzband	Resultierende Gesamtfeldstärke berechnet		
	min. [V/m]	max. [V/m]	Mittelwert [V/m]
743 - 3800 MHz	0.72	2.95	1.38
743 - 2685 MHz	0.72	1.98	1.21

Tabelle 29: Resultierende Gesamtfeldstärke Messstandort #3 Dach Firma Hasler

Die adaptiven Antennen haben die folgenden Anteile an der installierten Sendeleistung und an der gesamten Bandbreite:

Anteil > 3 GHz an der installierten Sendeleistung im Sektor	Anteil > 3 GHz an der gesamten Bandbreite im Sektor
12%	18%

Tabelle 30: Prozentuale Anteile Messstandort #3 Dach der Firma Hasler

Betrachtung der Messresultate bei diesem Messstandort:

- Es ist kein dominantes Frequenzband auszumachen.
- Die resultierende Gesamtfeldstärke wird von verschiedenen Frequenzbändern ähnlich stark beeinflusst.
- Der Datenverkehr im 3.5 GHz-Band ist in diese Richtung ausgeprägt vorhanden und durch viele Signalspitzen sichtbar.
- Das Verhältnis max/Mittel ist bei den Frequenzbändern mit konventionellen Antennen nie grösser als 2.3 ausser beim 700 MHz-Band, bei welchem es 4.4 ist. Dies ist aufgrund von kurzzeitigem, wiederholtem und grossem Datenverkehr zu erklären. Beim 3.5 GHz-Band beträgt dieses Verhältnis 4.4.
Am Grössten ist dieses Verhältnis mit 5.9 im 3.6 GHz-Band, wobei es sich dabei um ein Frequenzband von einer sich in der Nähe befindenden Swisscom-Mobilfunkstation handelt.
- Bei der resultierenden Gesamtfeldstärke in Tabelle 29 ist der Anteil der adaptiven Antenne gut erkennbar. Die Maximalwerte mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band unterscheiden sich klar (2.95 V/m resp. 1.98 V/m) und deren Mittelwerte sind auch ungleich (1.38 V/m resp. 1.21 V/m). Im Messdiagramm sieht man, dass die beiden zugehörigen Kurven aufgrund der hohen Anzahl starker Signalspitzen vom 3.5 – 3.8 GHz-Band nicht deckungsgleich sind.

- Auf dieser Mobilfunkanlage nimmt das installierte 3.5 GHz-Band 18% der gesamten installierten Bandbreite ein.
- Für den 01.05.2022 zwischen 01:30 – 02:30 Uhr konnten keine Daten von der Messstation geladen werden. Während dieser Zeitspanne wurde eine korrupte Datei erstellt, welche nicht ausgewertet werden konnte. Zudem speichert die Messstation ab und zu pro 6-Minuten-Speicherintervall keine Messwerte ab. Da es sich im Gesamten jedoch nur um sehr wenige fehlende Messwerte handelt, ist die Auswertung im Rahmen dieses Berichtes dennoch aussagekräftig und zutreffend.

3.3 Analyse

Bei den untersuchten Messstandorten konnten folgende Beobachtungen aus den Messkurven gemacht werden:

- Bei den konventionellen Antennen ist ein deutlicher Unterschied im Tagesverlauf der Feldstärke sichtbar. Tagsüber ist die Feldstärke erheblich höher als nachts. Bei den adaptiven Antennen hingegen ist der Feldstärkeunterschied im Vergleich zwischen Tag und Nacht gering und es heben sich jeweils die Signalspitzen des richtungsbezogenen Datenverkehrs heraus. Beim dritten Messstandort von ZH_2440A auf dem Dach der Firma Hasler sind diese Signalspitzen im 3.5 – 3.8 GHz-Band tagsüber am deutlichsten sichtbar.
- Bei den adaptiven Antennen gehört von den installierten betriebenen Frequenzbändern die minimale Feldstärke zu den Tiefsten und das Verhältnis max/Mittel ist am Grössten. Dies deutet darauf hin, dass die Daten zum Nutzer direktiv übertragen werden und deshalb sind diese Daten für andere Empfänger nur mit sehr geringer Feldstärke messbar.
- In den Messdiagrammen sieht man, dass die beiden Kurven für alle Frequenzbänder mit und ohne 3.5 – 3.8 GHz-Band praktisch deckungsgleich sind. Beim dritten Messstandort von ZH_2440A auf dem Dach der Firma Hasler ist der Anteil des 3.5 – 3.8 GHz-Bandes an der resultierenden Gesamtfeldstärke am Grössten und damit am besten ersichtlich. Die resultierende Gesamtfeldstärke ist für beide Kurven fast identisch und im Atelier des Bienenhauses (Innenbereich) sogar genau gleich gross.
- Bei den gemessenen Aussenmessstandorten ist die resultierende Gesamtfeldstärke (Mittelwert) nie höher als 1.4 V/m und der maximale Spitzenwert ist nie höher als 3.0 V/m. Die Gesamtfeldstärke bleibt somit jederzeit und bei jedem Aussenmessstandort deutlich unter dem Immissionsgrenzwert (frequenzabhängig zwischen 36 - 61 V/m).
- Bei den gemessenen Innenmessstandorten ist die resultierende Gesamtfeldstärke (Mittelwert) nie höher als 1.8 V/m und der maximale Spitzenwert ist nie höher als 3.6 V/m. Die Gesamtfeldstärke liegt immer deutlich unter der «elektrischen Feldstärke der Anlage» gemäss Berechnung nach Standortdatenblatt des zugehörigen OMENs und sowieso unterhalb des Anlagegrenzwertes von 5 V/m.
- Die Feldstärkenspitzenwerte der Funkbänder der adaptiven Antennen sind an 3 der 10 Messstandorten grösser als die Spitzenwerte der einzelnen Funkbänder der konventionellen Antennen. Jedoch sind sie immer unterhalb von 2.5 V/m. Die Mittelwerte der Feldstärken der Funkbänder der adaptiven Antennen sind nie grösser als die Spitzenwerte der einzelnen Funkbänder der konventionellen Antennen.
- Die Verhältnisse max/Mittel liegen bei den konventionellen Antennen in einem Bereich von 1.8 – 4.4 und sind damit deutlich kleiner als bei den adaptiven Antennen, wo sie in einem Bereich von 3.8 – 10.5 liegen. Dies ist ein klarer Hinweis auf die richtungsbezogene Aussendung der Nutzdaten.
- Der Anteil der installierten Sendeleistungen [Werp] für die adaptiven Antennen beträgt zwischen 11 – 40% der gesamten installierten Sendeleistung [Werp] im betrachteten Sektor.
- Der Anteil der Bandbreiten für die adaptiven Antennen beträgt zwischen 18 – 25% der gesamten Bandbreite im betrachteten Sektor.

4 Schlussfolgerungen

Die Messungen im Rahmen dieses Messberichtes bestätigen die folgenden Aussendungseigenschaften:

Bei konventionellen Antennen erhöht sich bei der Übertragung von Nutzdaten die Feldstärke im gesamten Wirkungsbereich der Antenne unabhängig davon, wo sich der Empfänger befindet.

Bei adaptiven Antennen hingegen werden Funksignale nur beim Empfänger und in seiner unmittelbaren Umgebung festgestellt. Im übrigen Wirkungsbereich der adaptiven Antenne erhöht sich die elektrische Feldstärke während der Datenübertragung nicht.

Bei der Gesamtbetrachtung der drei Mobilfunkanlagen sind die gemessenen Funksignale der adaptiven Antennen im Mittel deutlich kleiner als diejenigen der konventionellen Antennen.

Abkürzungen

AG008-1	Mobilfunkstation von Sunrise in Neuenhof
AGW	Anlagegrenzwert gemäss NISV [1]
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BE173-1	Mobilfunkstation von Sunrise im Liebefeld
E	Elektrische Feldstärke in [V/m]
KONI	Mobilfunkstation von Swisscom im Liebefeld
NIS	Nichtionisierende Strahlung
OMEN	Ort mit empfindlicher Nutzung gemäss NISV [1]
Werp	Effektive Strahlungsleistung in [W]
ZH_2440A	Mobilfunkstation von Salt in Winterthur

Referenzen

- [1] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV, 814.710)
- [2] Berechnung gemäss «Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, Vollzugsempfehlung zur NISV, BUWAL 2002» inklusive zugehörige Nachträge

Anhang 1: Rohdaten der Messdiagramme

Die Rohdaten der Messdiagramme sind in der Datei «Rohdaten_données brutes_dati grezzi.xls» aufgelistet.