

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung Jahresbericht 2024 - Projektkonsortium SwissNIS



Bern, 18. Juli 2025

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Lärm und NIS, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Projektkonsortium SwissNIS

TPH
Swiss Tropical and Public Health Institute
Kreuzstrasse 2
4123 Allschwil

FaW
Fields at Work GmbH
Hegibachstrasse 41
8032 Zurich

G+P
Grolimund + Partner AG
Entfelderstrasse 45
5000 Aarau

NED-TECH
NED – TECH AG
Unterholz 26
3380 Wangen an der Aare

Autor/Autorin:

Toni Ziegler, G+P, Projektleiter
Martin Rössli, TPH, Projektleiter Stv.
Dominik Haas, G+P
Nicolas Loizeau, TPH
Marco Zahner, FaW
Christa Stephan, G+P
Johannes Schindler, G+P
Markus Gugler, NED-TECH
Jürg Fröhlich, FaW
Erik Bühlmann, G+P
Michal Kovacik, G+P

Begleitung BAFU:

Sebastian Egger
Urs Walker
Alexander Reichenbach
Andreas Siegenthaler

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Titelbild: Nicolas Loizeau

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.2	18.07.2025	Projektteam	Jahresbericht 2024	BAFU

Inhalt

1. Einführung und Ziele	5
2. Konzept und Methoden	6
2.1 Messkonzept	6
2.2 Messinstrumente	7
2.2.1 Allgemeine Gerätespezifikationen	7
2.2.2 Neue Version der ExpoM-RF-Utility (April 2023)	8
2.2.3 Auswahl der Frequenzbänder	8
2.2.4 Messgenauigkeit und Messunsicherheit	10
2.2.5 Einfluss der Körperabschirmung	11
2.2.6 Crosstalk-Korrektur	11
2.3 Messungen	12
2.3.1 Routenmessungen	12
2.3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen	13
2.3.3 Stationäre Dauermessungen	14
2.4 Auswahl der Messstandorte	14
2.4.1 Repräsentativität der Routenmessdaten	15
2.4.2 Routenmessungen im Jahr 2024	16
2.4.3 Wohnungs- resp. Spotmessungen	18
2.4.4 Stationäre Dauermessungen	21
2.5 Datenmanagement	22
2.5.1 Messdateien und Datenbank	22
2.5.2 Datenaufbereitung	23
2.5.3 Deskriptive Statistik	25
3. Ergebnisse	28
3.1 Routenmessungen	28
3.1.1 Analyse der Routenmessungen aus dem Jahr 2024	28
3.1.1.1 Vergleich der Messumgebungen - HF-Exposition	28
3.1.1.2 Vergleich der Messumgebungen - NF-Exposition	34
3.1.1.3 Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW)	38
3.1.1.4 Zusätzliche Analysen in Schulen - HF- und NF-Exposition	39
3.1.1.5 Zusätzliche Analysen zur HF-Exposition in Autos mit dem Mobiltelefon im Online- und Flugmodus	41
3.1.2 Vergleich der HF- und NF-Exposition in den Jahren 2022 und 2024	42
3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen	50
3.2.1 HF-Exposition	50
3.2.2 NF- Exposition	55
3.3 Stationäre Dauermessungen	58
3.4 Vergleich Dauermessungen 2024 mit 2023	70

4. Diskussion und Erkenntnisse.....	75
4.1 Routenmessungen.....	75
4.1.1 Routenmessungen im Jahr 2024.....	75
4.1.2 Messungen an Schulen.....	75
4.1.3 Vergleich 2022/2024 bei Routenmessungen.....	76
4.2 Wohnungsmessungen.....	77
4.2.1 HF-Exposition.....	77
4.2.2 NF-Exposition.....	79
4.2.3 Stationäre Dauermessungen.....	80
4.3 Limitierungen.....	84
5. Literaturverzeichnis.....	86
6. Datenquellen.....	88
I Glossar.....	89
II Liste der Standortgemeinden von Mikroumgebungen.....	91
III Statistische Kenngrössen der Routenmessungen.....	94
IV Statistische Kenngrössen der Spotmessungen.....	114
V Statistische Kenngrössen der stationären Dauermessungen.....	125
VI Liste der Standorte von Spotmessungen.....	146

1. Einführung und Ziele

Seit der Revision der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom April 2019 ist das Bundesamt für Umwelt (BAFU) explizit damit beauftragt, die Exposition der Bevölkerung durch nichtionisierende Strahlung (NIS) periodisch zu erheben und eine nationale Übersicht zu erstellen (Art. 19b Abs. 1 NISV) [1]. Zu diesem Zweck wurde im Jahr 2020 durch das BAFU ein Projekt zur Erhebung von repräsentativen Messdaten zur Belastung der Schweizer Bevölkerung durch nichtionisierende Strahlung in ihrem Alltag ausgeschrieben.

Beim vorliegenden Dokument handelt es sich um den vierten Jahresbericht des Projektkonsortiums. Der Jahresbericht 2024 beschreibt einerseits das grundlegende Konzept und die Art der Datenerhebung, andererseits werden die Messergebnisse dargestellt. Der vorliegende Jahresbericht fokussiert auf die folgenden Messresultate vier Datenerhebungen:

- Bei den Routenmessungen wurden im Jahr 2024 insgesamt 150 Mikroumgebungen, 108 öffentlichen Orte und 181 öffentlichen Verkehrsmitteln gemessen, die in Kapitel 3.1.1 dargestellt sind.
- Bei den Routenmessungen ist das Jahr 2024 Teil des zweiten Messzyklus und damit ist es möglich, Vergleiche mit den Messdaten von 2022 in den gleichen Umgebungen durchzuführen. In Kapitel 3.1.2 ist eine Analyse der zeitlichen Veränderung der NIS zwischen 2022 und 2024 in 150 Mikroumgebungen, 95 öffentlichen Orte und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln dargestellt. Die Daten wurden jeweils zwischen Januar und November in den gleichen Mikroumgebungen auf den gleichen Routen erhoben.
- Bei den Spot- bzw. Wohnungsmessungen handelt es sich bei den präsentierten Daten in diesem Jahresbericht um 90 Wohnungen und vereinzelte Arbeitsplätze (Büros), die zwischen 2021 und April 2025 vermessen wurden (Kapitel 3.2).
- Neue Resultate zu Daten aus dem Jahr 2024 von den stationären Dauermessungen an fünf in der Schweiz verteilten Standorten (Kapitel 3.3).

Tabelle 1: Messkonzept, Umfang und Wiederholungsrhythmus der Messkampagnen

Messverfahren	Anzahl Einheiten	2021	2022	2023	2024	2025
Routenmessungen	300 Mikroumgebungen	25%	50%	50%*	50%*	25%*
Spot/Wohnungsmessungen	100 Wohnungen	20%	20%	20%	20%	20%
Stationäre Dauermessungen	5 Standorte			100%	100%	100%

*Ab Juli 2023 handelt es sich um Wiederholungsmessungen im Abstand von zwei Jahren an den gleichen Orten wie zuvor.

2. Konzept und Methoden

In diesem Kapitel werden das Konzept und die Methoden für die Messungen beschrieben, welche für die gesamte Projektlaufzeit von 5 Jahren geplant sind. Im ersten Jahresbericht 2021 [2] wurde sehr detailliert die Methodik und das Konzept beschrieben. Im vorliegenden Jahresbericht 2024 werden nur noch die wesentlichsten Elemente beschrieben, die für das Verständnis der beschriebenen Resultate notwendig sind, sowie auf Anpassungen und Weiterentwicklungen des Messkonzepts fokussiert.

2.1 Messkonzept

Das Messkonzept ist im Wesentlichen dasselbe wie im Jahresbericht 2021 [2] beschrieben. Das Konzept für die im vorliegenden Bericht dokumentierten Expositionsmessungen von nichtionisierender Strahlung beinhaltet drei sich ergänzende Messverfahren:

1. „Routenmessungen“
Mobile Messungen werden mit portablen Geräten auf definierten Messstrecken durchgeführt, wobei die Messungen im Abstand von 2 Jahren wiederholt werden. Die Messstrecken befinden sich innerhalb vorgängig ausgewählter „Mikroumgebungen“. Insgesamt werden schweizweit Messungen in 300 Mikroumgebungen durchgeführt, welche in 11 Typen kategorisiert werden (vgl. Tabelle 6). Innerhalb der einzelnen Mikroumgebungen werden sowohl Messwerte im Freien erfasst, was dem eigentlichen Typ der Mikroumgebung entspricht (z.B. Stadtzentren, Industriegebiete), aber auch in öffentlichen Bereichen (z.B. Bahnhöfe, Restaurants, Supermärkte, Schulen) und beim Transfer zwischen den Mikroumgebungen bzw. Messungen in zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln (Regional/Intercity Züge, Trams, Busse). Im Folgenden wird allgemein der Begriff „Messumgebung“ verwendet. Die Mikroumgebungen werden mithilfe von Geoinformationssystemen (GIS) anhand verschiedener Kriterien ausgewählt, damit das Total der Mikroumgebungen die Schweizer Bevölkerung gut repräsentiert. Im Vergleich zum Jahresbericht 2021 wurden die Typen von Mikroumgebungen von 9 auf 11 erhöht und die Messungen in Schulen in das Messkonzept aufgenommen.
2. „Spotmessungen/Wohnungsmessungen“
Über die ganze Projektlaufzeit werden mindestens 100 Wohnungen als „Orte mit empfindlicher Nutzung“ (OMEN) ausgewählt, welche in der Nähe von mindestens einer NIS-Quelle liegen und in denen daher überdurchschnittlich hohe Feldstärken zu erwarten sind. Damit werden typische Expositionssituationen in der Nähe der jeweiligen NIS-Quellen an Orten erfasst, an denen sich Menschen häufig und lange aufhalten. Gleichzeitig sind diese Wohnungen in Bezug auf andere NIS-Quellen quasi zufällig ausgewählt und zeigen so für diese Quellen repräsentative Expositionssituationen.
3. „Stationäre Dauermessungen“
Um die saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen sowie zeitliche Trends der NIS-Exposition aufzuzeigen, werden an fünf ausgewählten Standorten stationäre Dauermessungen während mindestens zwei Jahren (ab 1.1.2023) durchgeführt.

Die Messverfahren und die Kriterien zur Auswahl der Messorte werden nachfolgend beschrieben. Die Messungen erfassen gezielt diejenigen Strahlungsanteile, die aus der Umgebung stammen, nicht jedoch die Anteile, die durch das eigene Mobiltelefon entstehen. Die Anlagenbetreiber werden nicht darüber informiert, wo und wann die Messungen durchgeführt werden.

2.2 Messinstrumente

Für die Messungen kommen tragbare Exposimeter mit integriertem Datenlogger von Fields at Work zum Einsatz. Die Messung niederfrequenter Magnetfelder (NF-MF) wird durch das ExpoM-ELF Gerät abgedeckt, während für die hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF-EMF) ExpoM-RF Geräte der letzten Generation (Revision 4) zum Einsatz kommen.

Die ExpoM Messgeräte (Abbildung 1) sind kompakt und leicht und verfügen über einen integrierten GPS-Logger. Diese eignen sich daher besonders gut für mobile Messungen. Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Spot-Messungen und stationären Messungen können damit aber ebenfalls durchgeführt werden, so dass eine optimale Vergleichbarkeit aller Messergebnisse gewährleistet ist.



Abbildung 1: Eingesetzte Messgeräte: ExpoM-ELF (links) und ExpoM-RF 4 (rechts).

Messgeräte der ExpoM-Familie werden weltweit verwendet und wurden in den letzten Jahren für zahlreiche Studien und Messkampagnen im In- und Ausland eingesetzt.

2.2.1 Allgemeine Gerätespezifikationen

Das ExpoM-ELF ist ein 3-Achsen Magnetfeldmessgerät, das den Frequenzbereich von DC bis 100 kHz abdeckt und in der Standard-Empfindlichkeit Magnetfeldstärken bis $\pm 1500 \mu\text{T}$ erfassen kann. Die Messungen erfolgen im Zeitbereich und enthalten somit den höchstmöglichen Grad an Information. Bandselektive Auswertungen werden mithilfe nachträglicher digitaler Signalverarbeitung (FFT) der Zeitbereichsmessungen vorgenommen.

Das ExpoM-RF 4 ist ein konfigurierbares, bandselektives Exposimeter für hochfrequente elektromagnetische Felder von 50 MHz bis 6 GHz und erfasst die elektrische Feldstärke in V/m. Es stehen drei Empfindlichkeitsbereiche (6, 20 und 50 V/m) zur Verfügung. Das Gerät misst bandselektiv innerhalb einer selektierbaren Bandbreite von 35, 75 oder 100 MHz. Es können Bänder mit beliebigen Mittenfrequenzen innerhalb des spezifizierten Messbereichs definiert werden. Das ExpoM-RF nimmt in jedem Messintervall eine Stichprobe der Immission in allen vorkonfigurierten Bändern. Aus diesen Stichproben (je ca. 50 ms Messdauer) wird jeweils der Effektivwert (RMS) sowie der kurzzeitige Peak-Wert (Maximum) ermittelt und abgespeichert.

Die ausführlichen Gerätespezifikationen der beiden Geräte befinden sich auf den entsprechenden Produktseiten der Fields at Work Webseite (www.fieldsatwork.ch).

2.2.2 Neue Version der ExpoM-RF-Utility (April 2023)

Im April 2023 wurde eine neue Version der ExpoM-RF-Utility veröffentlicht, welche eine Verbesserung des Algorithmus zur Berechnung der RMS-Feldstärkewerte aus den Rohdaten des Messgeräts enthält. Messgeräte werden bei der Kalibrierung mit einer bestimmten Anzahl Referenzfeldstärken kalibriert. Beim ExpoM-RF befinden sich diese Referenzfeldstärken in Abständen von 5 dB beginnend bei 0.0011 V/m. Die Punkte zwischen diesen Referenzfeldstärken werden rechnerisch bestimmt. Dabei handelt es sich um ein Interpolationsverfahren. Die dabei rechnerisch bestimmten Messwerte weisen eine gewisse Abweichung zu den real auftretenden Feldstärken auf. Diese Abweichungen werden als Teil der Messunsicherheit angegeben. Der neue Algorithmus reduziert diese Abweichung und stellt dabei auch eine bessere Vergleichbarkeit mit den Messungen der vorherigen Version des ExpoM-RF sicher.

Der neue Algorithmus führt zu einer systematischen Korrektur der RMS-Messwerte gegenüber der vorherigen Version zwischen 5 bis 10%. Die Abweichungen der neuen Version bewegen sich innerhalb der ursprünglich abgeschätzten Messunsicherheit. Die Peak-Werte sind durch das Update nicht betroffen, da ein anderer Algorithmus zum Einsatz kommt, bei dem keine Anpassung nötig ist.

2.2.3 Auswahl der Frequenzbänder

Für dieses Projekt wurde eine Auswahl von je 35 Frequenzbänder im HF-EMF Bereich getroffen, welche alle wichtigen Rundfunk-, Mobilfunk- und drahtlosen Telekommunikationsdienste sowie durch Infrastruktur verursachte NIS-Immissionen abdeckt. Die 35 HF-Frequenzbänder werden für jedes ExpoM-RF individuell in der echofreien Messkammer (Fernfeld) kalibriert. Die HF-Frequenzbänder sind in Tabelle 2 aufgelistet und entsprechen weitestgehend spezifischen Diensten. Erklärungen zu den Abkürzungen sind im Glossar (Anhang I) zu finden. Das ExpoM-ELF wird in einem eigens dafür entwickelten Aufbau kalibriert. Die hauptsächlich NF-Frequenzbänder sind die Eisenbahnstrom (16.6 Hz), Stromversorgung (50 Hz), und Tram-Rippelstrom (300 Hz), sowie ihre Oberwellen und sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Einstellung der NF-Bänder wurde 2022 überarbeitet, weswegen leichte Unterschiede gegenüber der im Bericht 2021 aufgeführten Liste bestehen. Die Bandbreite für die Erfassung der Eisenbahnstrom-Anteile (NF Band Nr. 2) wurde von 2 Hz auf 4 Hz erhöht und die Bandbreite der benachbarten NF-Bänder 1 und 3 entsprechend reduziert. Mit dieser Anpassung konnten kleinere Übersprech-Effekte von Bahnstrom-Anteilen auf die benachbarten Bänder beseitigt werden.

Tabelle 2: Auflistung der HF-Frequenzbänder.

HF-EMF Band Nr.	Beschreibung	Mittenfrequenz in MHz	Bandbreite in MHz	Dienst Kategorie
1	FM Radio	97.75	35	broadcast
2	DAB/DAB+	202	75	broadcast
3	Polycorn / TETRAPOL	385	35	infrastructure
4	TETRAPOL, amateur, ISM 433	422.5	35	ISM, public
5	PMR/PAMR (Betriebsfunk)	452.5	35	infrastructure
6	Broadcasting CH (1)	507.5	75	broadcast
7	Broadcasting CH (2)	583.5	75	broadcast
8	Broadcasting CH (3)	659.5	75	broadcast
9	Mobile 700 UL (CH)	718	35	cellular uplink
10	Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	748	35	cellular TDD
11	Mobile 700 DL (CH)	770.5	35	cellular downlink

HF-EMF Band Nr.	Beschreibung	Mittenfrequenz in MHz	Bandbreite in MHz	Dienst Kategorie
12	Mobile 800 downlink	808.5	35	cellular downlink
13	Mobile 800 uplink	847	35	cellular uplink
14	Mobile 900 uplink	897.5	35	cellular uplink
15	Mobile 900 downlink	942.5	35	cellular downlink
16	Mobile 1400 SDL (CH)	1479.5	75	cellular downlink
17	Mobile 1800 uplink	1747.5	75	cellular uplink
18	Mobile 1800 downlink	1842.5	75	cellular downlink
19	DECT	1897.5	35	
20	Mobile 2100 uplink	1957	75	cellular uplink
21	Mobile 2100 downlink	2145	75	cellular downlink
22	ISM 2.4 GHz	2438	100	WiFi
23	Mobile 2600 uplink	2535	75	cellular uplink
24	Mobile 2600 TDD (Swisscom)	2592.5	35	cellular TDD
25	Mobile 2600 downlink	2657	75	cellular downlink
26	Mobile 3500 (1)*	3475	100	cellular TDD
27	Mobile 3500 (2)*	3605	100	cellular TDD
28	Mobile 3500 (3)*	3735	100	cellular TDD
29	WiFi 5 GHz (1)	5200	100	WiFi
30	WiFi 5 GHz (2)	5325	100	WiFi
31	WiFi 5 GHz (3)	5450	100	WiFi
32	WiFi 5 GHz (4)	5575	100	WiFi
33	WiFi 5 GHz (5)	5700	100	WiFi
34	WiFi / SRD 5.8 GHz (1)	5825	100	WiFi
35	WiFi / SRD 5.8 GHz (2)	5950	100	WiFi

*Die Mittenfrequenzen und Bandbreiten wurden so ausgewählt, dass unter Berücksichtigung des Crosstalks der Frequenzbereich von 3400 bis 3800 MHz lückenlos abgebildet wird.

Tabelle 3: Auflistung der NF-Frequenzbänder.

NF-MF Band	Beschreibung	Mittenfrequenz in Hz	Bandbreite in Hz	Dienst Kategorie
1	LF-Band 5 bis 14 Hz	9.5	9	
2	Eisenbahnstrom (16.7 Hz), 15 bis 18 Hz	16.5	4	Öffentlicher Verkehr
3	LF-Band 19 bis 48 Hz in μ T	33.5	29	Unspezifisches Zwischenband
4	Netzspannung AC (50 Hz), 49 bis 51 Hz	50	2	Stromnetz
5	LF-Band 52 bis 98 Hz	75	46	Unspezifisches Zwischenband
6	Netzspannung erste Oberschwingung, 99 bis 101 Hz	100	2	Stromnetz
7	LF-Band 102 bis 148 Hz	125	46	Unspezifisches Zwischenband
8	Netzspannung zweite Oberschwingung, 149 bis 151 Hz	150	2	Stromnetz

NF-MF Band	Beschreibung	Mittenfrequenz in Hz	Bandbreite in Hz	Dienst Kategorie
9	LF-Band 152 bis 298 Hz	225	146	Unspezifisches Zwischenband
10	Tramstrom (DC mit Rippelstrom, 300 Hz), 299 bis 301 Hz	300	2	Öffentlicher Verkehr
11	LF-Band 302 bis 598 Hz	450	296	Unspezifisches Zwischenband
12	Tramstrom erste Oberschwingung, 599 bis 601	600	2	Öffentlicher Verkehr
13	LF-Band 602 bis 898 Hz	750	296	Unspezifisches Zwischenband
14	Tramstrom zweite Oberschwingung, 899 bis 901 Hz	900	2	Öffentlicher Verkehr
15	LF-Band 902 bis 1000 Hz	951	98	Unspezifisches Zwischenband
16	HF-Band - 1 bis 5 kHz	3000	4000	Unspezifischer Frequenzblock
17	HF-Band 5.1 bis 10 kHz	7550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
18	HF-Band 10.1 bis 15 kHz	12550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
19	HF-Band 15.1 bis 20 kHz	17550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
20	HF-Band 20.1 bis 25 kHz	22550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
21	HF-Band 25.1 bis 30 kHz	27550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
22	HF-Band 30.1 bis 35.1 kHz	32600	5000	Unspezifischer Frequenzblock
23	HF-Band 35.1 bis 40 kHz	37550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
24	HF-Band 40.1 bis 45 kHz	42550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
25	HF-Band 45.1 bis 50 kHz	47550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
26	HF-Band 50.1 bis 55 kHz	52550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
27	HF-Band 55.1 bis 60 kHz	57550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
28	HF-Band 60.1 bis 65 kHz	62550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
29	HF-Band 65.1 bis 70 kHz	67550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
30	HF-Band 70.1 bis 75 kHz	72550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
31	HF-Band 75.1 bis 80 kHz	77550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
32	HF-Band 80.1 bis 85 kHz	82550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
33	HF-Band 85.1 bis 90 kHz	87550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
34	HF-Band 90.1 bis 95 kHz	92550	4900	Unspezifischer Frequenzblock
35	HF-Band 95.1 bis 100 kHz	97550	4900	Unspezifischer Frequenzblock

2.2.4 Messgenauigkeit und Messunsicherheit

Die folgende Tabelle führt die Messunsicherheiten der beiden Messgeräte auf. Die Unsicherheitsanalyse des ExpoM-ELF bezieht sich auf die Messung von Wechselfeldern, d.h. die DC-Komponente ist nicht berücksichtigt.

Tabelle 4: Messgenauigkeit der eingesetzten Messgeräte. Die Berechnung der kombinierten Unsicherheit berücksichtigt die Verteilung der einzelnen Beiträge gemäss den etablierten GUM-Richtlinien [3].

Einflussgrösse	Beschreibung	Verteilung	Beitrag ExpoM-ELF	Beitrag ExpoM-RF
Kalibrierung	Unsicherheiten der Referenz-Feldstärken während der Kalibrierungsmessungen durch Aufbau und Messgeräte	Normal	3.7%	10.7%

Einflussgrösse	Beschreibung	Verteilung	Beitrag ExpoM-ELF	Beitrag ExpoM-RF
Frequenzgang	Variation der Kalibrierungskonstanten bei Messungen ausserhalb der kalibrierten Frequenzpunkte	Gleich	5.0%	28.3%
Nichtlinearität	Variation der Kalibrierungskonstanten bei Messungen ausserhalb der kalibrierten Amplitudenwerte / Interpolation	Gleich	1.0%	5.8%
Anisotropie	Richtungsabhängige Empfindlichkeit des Messgeräts	Gleich	1.0%	49.6%
Auflösung	Digitale Rundungs- und Offsetfehler	Gleich	0.5%	3.0%
Temperatur	Unsicherheit durch Temperaturdrift von Sensoren und Elektronik	Gleich	2.5%	10%
Wiederholbarkeit	Zufällige Variationen (Rauschen)	Normal	0.5%	1.0%
TOTAL	kombinierte Messunsicherheit (95% Konfidenzintervall)		3.9% / 0.33 dB	34.1% / 2.6 dB

Tabelle 4 zeigt, dass im NF-Bereich die Messunsicherheit gering ist. Die erwartete Abweichung liegt bei 3.9%. Im HF-Bereich ist die Unsicherheit mit $\pm 34.1\%$ deutlich grösser. Dies ist messtechnisch zu erwarten. Es ist zu betonen, dass sich diese Messunsicherheit auf einen einzelnen Messwert bezieht. Wird jedoch bei einer Routenmessung das Messgerät bewegt, werden sich die Unsicherheiten beim Mittelwert für die entsprechende Mikroumgebung zu einem grossen Teil kompensieren. Im Idealfall, wenn alle Fehler zufällig normalverteilt wären, würde die Unsicherheit mit der Wurzel der Anzahl Messwerte reduziert werden. Nimmt man also 150 Messwerte pro Mikroumgebung an (Messintervall von 6 Sekunden während 15 Minuten), würde sich die Messunsicherheit des Mittelwertes also im Idealfall auf $\pm 3\%$ reduzieren. In der Realität wird dies aber nicht erreicht, da einige der Fehlerbeiträge nicht unabhängig sein dürften. Dies betrifft v.a. die Temperatur, Kalibrierung und teilweise den Frequenzgang. Damit ist die tatsächliche Unsicherheit des Mittelwertes pro Mikroumgebung im Bereich von $\pm 10\%$. Dieser Unsicherheitsbereich wurde bei der früheren Geräteversion bei Parallelmessungen im Feld bestätigt [4].

2.2.5 Einfluss der Körperabschirmung

Von Werk aus werden die ExpoM-RF Geräte in der echofreien Messkammer im Freifeld kalibriert. Dabei steht das Gerät auf einer freistehenden isolierten Plattform, welche einen vernachlässigbaren Einfluss auf das eintreffende Feld hat. In der Praxis wird das Messgerät bei Routenmessungen in einem Rucksack mitgeführt und in einem relativ kleinen Abstand (ca. 20 cm) zum Körper getragen. Diese Faktoren können die gemessene elektromagnetische Feldstärke zu einem gewissen Grad durch Dämpfungs-, Abschattungs- und Reflexionseffekte beeinflussen. Das Ausmass dieser Effekte wurde anhand des im Projekt eingesetzten Messaufbaus für die Routenmessungen untersucht und ist im Jahresbericht 2021 detailliert beschrieben [2].

2.2.6 Crosstalk-Korrektur

Crosstalk beschreibt den Umstand, dass ein Signal, das in einem Frequenzband A gesendet wird, zusätzlich in einem benachbarten Frequenzband B aufgezeichnet wird. Dieser Effekt kann auftreten, wenn die beiden Frequenzbänder hinreichend nahe beieinanderliegen, sodass die Frequenzfilterung im Messgerät keine scharfe Trennung zwischen den Bändern erwirken kann. Dies betrifft vor allem die Abgrenzung zwischen DECT (Schnurlostelefon) 1800 MHz- Downlink und in geringerem Mass Bänder

im 700 MHz Bereich sowie Rundfunk. Die detaillierte Beschreibung des Effektes und der entsprechenden Korrektur der Messwerte sind im Jahresbericht 2021 [2] ausgeführt. Kurz zusammengefasst besteht die Korrektur darin, dass jeweils die zeitliche Korrelation der beiden benachbarten Bänder analysiert wird. Wenn die gleitende Korrelation einen Schwellenwert überschritt, werden die entsprechenden Messwerte mit dem niedrigsten in der Umgebung gemessenen Wert ersetzt (und nicht mit dem Medianwert, wie im Jahresbericht 2021 fälschlicherweise angegeben). Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser niedrigste Wert nicht oder nur minimal durch Crosstalk verfälscht ist. In seltenen Fällen, in denen diese Korrektur nicht anwendbar ist, wird eine manuelle Korrektur vorgenommen und der DECT-Wert durch den niedrigsten in der Umgebung gemessenen DECT-Wert ersetzt.

2.3 Messungen

2.3.1 Routenmessungen

Bei den Routenmessungen werden zu Fuss Messungen mit Messgeräten, die in einem Rucksack installiert sind, auf vordefinierten Messrouten durchgeführt. Die Routenmessungen sind Messungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) und niederfrequenten magnetischen Feldern (NF-MF) und bestehen aus drei Messszenarien resp. Messumgebungen:

- **Mikroumgebungen:** Die Messstrecken befinden sich in "Mikroumgebungen" (Gebiete mit einer Fläche zwischen 0.03 und 0.8 km², die auf der Grundlage humangeografischer Merkmale definiert sind) die nach dem in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen Verfahren ausgewählt werden. In jeder Mikroumgebung wird eine Messstrecke (Route) von etwa 1 bis 1.3 km festgelegt, so dass für den Fussmarsch etwa 15 Minuten benötigt werden. Die Messstrecken sind so angeordnet, dass sie möglichst die gesamte Fläche der Mikroumgebung abdecken. Weitere Details zu den Messungen in Mikroumgebungen sind im Jahresbericht 2021 [2] zu finden.
- **Öffentliche Bereiche:** Expositionsmessungen werden während der Reise zwischen den verschiedenen Mikroumgebungen an öffentlichen Orten (z. B. Haltestellen, Bahnhöfe, Schulen) durchgeführt. An diesen Orten werden die Messungen auch zu Fuss durchgeführt, um den gesamten Ort so gut wie möglich abzudecken wird. In Restaurants wird der Rucksack auf den Stuhl vor der Messperson gelegt.
- **Öffentliche Verkehrsmittel:** Die Exposition in Verkehrsmitteln wird während der Fahrzeit (z. B. in Zügen, Bussen, Trams) erfasst. Der Rucksack in öffentlichen Verkehrsmitteln wird auf einem Sitz abgestellt, wenn ein Platz frei ist. Wenn kein Platz für den Rucksack frei ist, wird der Rucksack auf den Schooss gelegt, oder wenn die messende Person nicht sitzen kann, steht die messende Person und trägt den Rucksack.

Die Aktivität und Lokalität werden mit einer Smartphone App erfasst. Mit Hilfe der App wird protokolliert, wann und wo man die Messung gestartet und beendet hat. Das Mobiltelefon des Messtechnikers bleibt während der gesamten Messung im Flugmodus. Die Koordinaten der einzelnen Messpunkte werden mithilfe des in den Messgeräten eingebauten GPS aufgezeichnet.

Das Setup für die Routenmessungen ist in Abbildung 2 dargestellt. Zwei ExpoM-RF4 (HF-Messgerät) und ein ExpoM-ELF (NF-Messgerät) sind in einem definierten Abstand zum Körper in einem Koffer angeordnet, so dass sich die gegenseitige Beeinflussung minimiert. Schaumstoffelemente stellen sicher, dass die relative Position der Geräte und der Abstand zum Rücken der Person konstant und

stabil bleibt. Die beiden ExpoM-RF werden mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten eingesetzt (erfasste Messwerte bis 6 V/m bzw. 20 V/m). Detailliertere Angaben zum Setup sind im Jahresbericht 2021 enthalten [2].



Abbildung 2: Darstellung des Setups für die Routenmessung. Links: Drei Messgeräte (zwei ExpoM-RF4 und ein ExpoM-ELF) sind in einem mit Schaumstoff gefüllten Koffer befestigt. Zentrum: Der Koffer wird in den Rucksack gestellt und mit Schaumstoff fixiert. Rechts: Die Messperson trägt den Rucksack mit den Messgeräten in einem Abstand von 20 cm zu ihrem Körper und in einer Höhe von 160 cm.

2.3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen

Die Wohnungsmessungen bestehen an jedem Messort aus drei Teilmessungen:

- Kurzzeitmessung: Stationäre Messung während 10 min mit 10 s Messintervall im Wohnzimmer auf einem nichtleitenden Stativ („spot-local“). Die Messgeräte werden an einem Ort platziert, an dem sich die Bewohner regelmässig längere Zeit aufhalten, entweder beim Sofa oder beim Esstisch. Die genaue Position wird so gewählt, dass eine geringe Dämpfung gegenüber externen Quellen zu erwarten ist (z.B. freie Sicht auf Mobilfunkantennen oder minimale Distanz zu Hochspannungsleitungen).
- Mobile Messung: Abschreiten der gesamten Wohnung während 10 min mit Messintervall 6 s. Die Messgeräte werden an einem nichtleitenden Schulterstativ („spot-area“) befestigt. Die mobile Messung wird gleichzeitig mit der stationären Messung durchgeführt. Die Erfassungszeitspanne wird dabei gleichmässig auf die vorhandenen Räume verteilt.
- Langzeitmessung: Stationäre Messung während 24 h mit 10 s Messintervall im Schlafzimmer in Bettnähe auf Liegehöhe („spot-24h“).

Das Setup für die Spotmessungen ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei allen Teilmessungen werden parallel je ein ExpoM-ELF und ein ExpoM-RF (mit der empfindlichen Sensitivitätseinstellung von 6 V/m) eingesetzt. Vor oder zwischen den Messungen werden Informationen zum Messort und den Umgebungsbedingungen als Metadaten mit einer Smartphone-App elektronisch erfasst, siehe Tabelle 49 im Anhang. Das Mobiltelefon des Messtechnikers befindet sich während der gesamten Messung im Flugmodus.



Abbildung 3: Darstellung des Mess-Setups für „spot-local“ (links), „spot-area“ (Mitte) und „spot-24h“ (rechts)

2.3.3 Stationäre Dauermessungen

Für die Stationären Dauermessungen wird ein ExpoM-RF in einem wetterfesten Kunststoffkoffer im Aussenbereich aufgestellt und per USB-Kabel mit einem Mini-Computer verbunden. Der Mini-Computer steuert das Auslesen der Daten. Eine speziell dafür konzipierte Elektronik schaltet zwischen Auslesen der Daten und Aufladen des ExpoM-RF um. Bei den stationären Dauermessungen werden elektrische Felder gemäss der SwissNIS Frequenzliste in Tabelle 2 gemessen. Auf die Aufzeichnung der niederfrequenten Bänder wird verzichtet, weil der zeitliche Verlauf dieser Feldstärken und die Stromflüsse in den Netzen bzw. Fahrleitungen gekoppelt ist und damit bekannten Mustern folgt oder von den Betreibern aufgezeichnet wird. Die Stationären Dauermessungen zeichnen jeweils während 12 h in einem Intervall von 10 s Messwerte auf. Nach Ablauf der 12 h werden die Daten ausgelesen, was einen Unterbruch der Datenaufzeichnung von rund 1 min zur Folge hat.

Die Befestigung des Koffers wird soweit möglich mit nichtleitenden Materialien realisiert. Die Mini-Computer sind mit dem Internet verbunden, um die anfallenden Messdaten periodisch in die Datenbank zu übertragen. Der Internetzugang wird soweit möglich via Kabel realisiert. Wo dies nicht möglich ist, kommen Wi-Fi oder 4G-Mobilfunkmodems zum Einsatz. Da die Feldstärkemessungen frequenzselektiv erfolgen, können die Aussendungen, welche während der Datenübertragung des Messgeräts entstehen, in der Auswertung ausgeblendet werden (Wi-Fi bzw. Uplink-Bänder).

Die Messstationen in Zürich, Allschwil und Aarau verwenden für den Datenupload ein Mobilfunkmodem. Dies führt auf dem Band 23 (Mobile 2600 Uplink) und durch Crosstalk auf dem Band 22 (ISM 2.4 GHz, WLAN) alle drei Stunden zu einer Erhöhung der gemessenen Feldstärke. Die durch den Datenupload verursachten Feldstärkebeiträge werden möglichst vollständig von einem Filteralgorithmus entfernt. Der Bereich mit Feldstärkespitzen wird dabei durch den Median des vorhergehenden fünfminütigen Intervalls ersetzt.

2.4 Auswahl der Messstandorte

Dieses Kapitel beschreibt zusammenfassend die Verfahren zur Auswahl der Messstandorte für die drei Messverfahren: 1. Routenmessungen, 2. Spot- resp. Wohnungsmessungen, 3. Stationäre Dauermessungen.

2.4.1 Repräsentativität der Routenmessdaten

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der 300 Mikroumgebungen, die zwischen 2021 und 2024 in der ganzen Schweiz gemessen wurden.

Übersicht der Routenmessungen (Stand: Mai 2025)

- 150 Mikroumgebungen in 2024 gemessen (wiederholung von 2022)
- 150 Mikroumgebungen in 2021 und 2023 gemessen
- ◆ öffentliche Bereiche

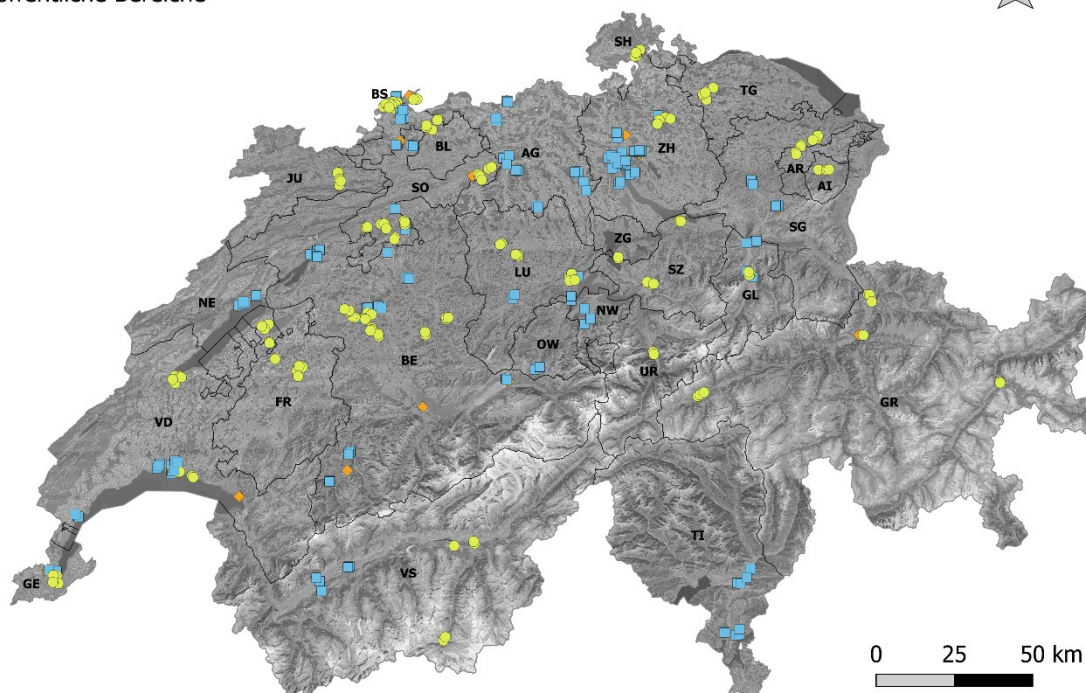


Abbildung 4: Karte der Standorte von Routenmessungen (2021-2024). In diesem Bericht werden die Daten von 150 Mikroumgebungen aus 2024 analysiert (gelbe Punkte). Die Routenmessungen aus dem Jahr 2022 wurden im Jahr 2024 wiederholt, darunter 150 Mikroumgebungen. Die öffentlichen Bereiche wurden grösstenteils innerhalb oder in der Nähe dieser Mikroumgebungen definiert. Kartenquelle: Hintergrundkarte – Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>.

Die Repräsentativität der 300 Mikroumgebungen in Bezug auf die Schweizer Bevölkerung, die NIS-Quellen ausgesetzt ist, ist in Tabelle 5 dargestellt. Der Prozentsatz der Schweizer Bevölkerung, der in einem bestimmten Radius um eine NIS-Quelle lebt, wird mit dem Prozentsatz der Bevölkerung, die innerhalb der Mikroumgebungen in einem bestimmten Radius um eine NIS-Quelle lebt, in Tabelle 5 verglichen. Unsere Stichprobe von 300 Mikroumgebungen ist überrepräsentativ, was die Exposition der Bevölkerung gegenüber Mobilfunkantennen betrifft (39.2% in den 300 Mikroumgebungen vs. 13.7% in der Schweiz), da die urbanen Städte absichtlich stärker beprobt wurden. Die anderen NIS-Quellen sind gleichmässig vertreten, ebenso wie alle Kantone, Sprachregionen, und Gemeindetypologie [5] mit geringen Unterschieden.

Tabelle 5: Übersicht über die Bevölkerungsanteile, die schweizweit in der Nähe der wichtigsten NIS-Quellen wohnhaft sind im Vergleich zur Bevölkerung, die in den 300 ausgewählten Mikroumgebungen an denselben NIS-Quellen wohnhaft ist. (Stand: April 2023).

NIS-Quellen	Anzahl der Personen, die in der Nähe einer NIS-Quelle leben	[%]	Anzahl der Personen, die in der Nähe einer NIS-Quelle leben	[%]
	In der Schweiz		In den 300 Mikroumgebungen	
Mobilfunkantenne (Radius zwischen 20 m und 150 m)	1175841	13.7	108724	39.2
Radio-/TV-Sender (Radius zwischen 200 m und 2 km)	23059	0.3	3238	1.2
Hochspannungsleitung 36-150 kV (Radius von 100 m)	166568	1.9	3997	1.4
Hochspannungsleitung 200 oder 380kV (Ra- dius von 200 m)	171524	2.0	4343	1.6
Eisenbahn-/Tramlinie (Radius 20 m bis 100 m)	828987	9.6	31619	11.4

Bei Messungen in öffentlichen Bereichen wurde nach Möglichkeit das übliche Verhaltensmuster der Bevölkerung berücksichtigt. So wurden Messungen in Restaurants während der „Mittagspitze“ (Mobilfunk, Stromversorgung) durchgeführt und können deshalb als repräsentativ angenommen werden. Nicht repräsentativ ist allerdings die bevorzugte Anreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln und damit der Aufenthalt in öffentlichen Bereichen (z.B. Restaurants) in Bahnhofsnähe. In diesen Messumgebungen dürfte der Anteil des Eisenbahnstrom-Magnetfelds überproportional stark sein. Es ist daher anzunehmen, dass die Exposition an diesen öffentlichen Orten etwas überschätzt wird.

2.4.2 Routenmessungen im Jahr 2024

Im Jahr 2024 wurden vier Messkampagnen von Routenmessungen durchgeführt:

1. 24. Jan. - 13. Feb. 2024
2. 23. Apr. - 15. Mai 2024
3. 27. Jul. - 16. Aug. 2024
4. 22. Okt. - 11. Nov. 2024

Jede Messkampagne besteht aus 7 bis 8 Messtagen, an denen tagsüber montags bis freitags (ausser feiertags) gemessen wird. Die Messungen wurden je zwischen 07:00 und 20:20 Uhr durchgeführt.

In diesem Bericht werden von den Routenmessungen die Daten vom zweiten Messzyklus analysiert, welcher 150 Mikroumgebungen umfasst, die im Jahr 2024 gemessen wurden. Die Verteilung dieser 150 Mikroumgebungen ist in Abbildung 4 in Gelb dargestellt. Im Jahr 2022 wurden im Rahmen vom ersten Messzyklus 150 Mikroumgebungen und 68 öffentliche Bereiche vermessen. Dabei wurden die Messungen auf denselben Messpfaden zur selben Zeit (± 1 Stunde) am selben Wochentag (± 1 Woche) wiederholt. Die zahlreichen Messungen in den öffentlichen Verkehrsmitteln im Jahr 2022 und 2024 werden alle zusammen verglichen. Dabei handelt es sich grundsätzlich um die gleichen An- und Abreisen zu den Messumgebungen.

Die 150 Mikroumgebungen werden in 11 Mikroumgebungstypen zusammengefasst: 10 Stadtzentren, 10 urbane zentrale Wohngebiete, 18 urbane dezentrale Wohngebiete, 21 suburbane Stadtzentren, 29 suburbane Wohngebiete, 16 Dorfzentren, 16 ländliche Wohngebiete, 14 Industriegebiete, 4 Sport-

/Freizeitgebiete, 9 landwirtschaftliche Gebiete, und 3 Naturgebiete. Die Definition von Mikroumgebungen ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Anzahl der Mikroumgebungen und öffentlichen Bereiche pro Gemeinde ist in den Tabelle 11 bzw. Tabelle 12 angegeben.

Tabelle 6: Definition, Stichprobenzahl und Beschreibung der 11 Mikroumgebungstypen im Jahr 2024.

Mikroumgebung	Anzahl (N)	Beschreibung
Stadtzentrum	10	Grossstadtzentrum, typischerweise in Innenstädten mit hohen Gebäudehöhen (>4 Stockwerke)
urbanes zentrales Wohngebiet	10	in der Nähe eines städtischen Zentrums mit schmalen Gebäudestrukturen und hohen Gebäudehöhen (> 4 Stockwerke)
urbanes dezentrales Wohngebiet	18	am äusseren Rand einer Grossstadt mit einem höheren Anteil an Grünflächen als im Zentrum und mittleren Gebäudehöhen (2-3 Stockwerke)
suburbanes Stadtzentrum	21	Vorstädtisches Zentrum, einschliesslich Geschäften und Restaurants, mit Gebäudehöhen von 3-4 Stockwerken
suburbanes Wohngebiet	29	Vorstädtisches Wohngebiet überwiegend bestehend aus Wohnungen oder Häusern mit Wohnungen
Dorfzentrum	16	Dorfzentrum, einschliesslich Geschäften und Restaurants, mit Gebäudehöhen von 2-3 Stockwerken
ländliches Wohngebiet	16	Vorstädtisches und ländliches Wohngebiet, überwiegend bestehend aus Wohnungen oder Häusern
Industriegebiet	14	Geschäfts- oder Produktionsgebäude, unabhängig von der Stadtypologie
Sport-/Freizeitgebiet	4	Stadtparks und Sportplätze in den Städten
landwirtschaftliches Gebiet	9	bewirtschaftete Flächen wie Felder oder Weinberge
Naturgebiet	3	Wälder, Wiesen oder Naturschutzgebiete

Ebenso haben wir die öffentlichen Bereiche in 8 Messumgebungstypen zusammengefasst. Diese umfassen im Jahr 2024: 26 Bahnhöfe, 22 Bushaltestellen, 7 Tramhaltestellen, 11 Supermärkte, 18 Restaurants, 2 Hochschulen (ETH, UNI, FH) (6 Messungen), 5 Schulen (17 Messungen) sowie eine Bibliothek.

Eine zusätzliche Analyse wird in Schulen durchgeführt, respektive diejenige aus dem Jahresbericht 2022 [6] ergänzt. Im Jahr 2024 wurden Messungen in fünf Schulen (zwei Primar-, zwei Sekundarschulen, ein Gymnasium) durchgeführt. In jeder Schule werden mindestens drei verschiedene Messsituationen für 10 bis 15 Minuten während der Schulzeit gemessen:

- Auf dem Pausenplatz ausserhalb der Pause ohne Schüler*innen
- Auf dem Pausenplatz während der Pause mit Schüler*innen
- Auf den Korridoren

Die Messungen werden nicht in den Klassenzimmern durchgeführt, um den Schulbetrieb nicht zu stören. Ausserdem beschäftigen andere laufende Studien sich mit der Messung der persönlichen Exposition von Schüler*innen (z.B. «Auswirkungen der Immissionen von Mobilfunkbasisstationen und Radiosendern auf das Befinden, Verhalten und kognitive Fähigkeiten von Jugendlichen: prospektive Kohortenstudie mit eingebetteter Panelstudie» [7]).

Eine zusätzliche Analyse wurde bei 16 Fahrten in einem Dieselauto im Jahr 2024 durchgeführt. Der Messrucksack wurde auf dem Beifahrersitz abgelegt (Abbildung 5). Um die typische Umgebungsbelastung in Autos darzustellen, wurden auf der Hinfahrt zum Messort Messungen mit dem Mobiltelefon im Online-Modus durchgeführt. Das Mobiltelefon wurde in einem Fach unter den Klimatasten des Autos

vor dem Schaltknüppel platziert. Wenn das Mobiltelefon im Online-Modus (Idle) war, war das Mobiltelefon mit dem Mobilfunknetz verbunden und Bluetooth eingeschaltet. Auf der Rückfahrt wurde das Telefon in den Flugmodus geschaltet, um den Einfluss der Exposition zu vergleichen, die durch das Vorhandensein eines Mobiltelefons im Fahrzeuginnenraum entsteht. Diese spezifischen Messungen ergänzen die früheren Messungen in Autos in den vergangenen Jahren, bei denen das Mobiltelefon jedoch immer im Flugmodus war.



Abbildung 5: Darstellung des Mess-Setups für die zusätzliche Analyse in Autos. Für diese Messung wurden ein ExpoM-RF und ein ExpoM-ELF in den Messkoffer gelegt (links), der auf den Beifahrersitz gelegt wurde (rechts).

2.4.3 Wohnungs- resp. Spotmessungen

Für eine repräsentative Auswahl von Messungen in privaten Wohnräumen wäre prinzipiell eine Zufallsstichprobe erwünscht. Das hätte jedoch den Nachteil, dass Situationen mit hoher Exposition, welche selten sind, bei der relativ geringen Anzahl von ausgewählten Wohnhäusern verpasst würden. Aus diesem Grund wird bei der Auswahl eine doppelte Strategie angewendet. Um sicher zu stellen, dass hohe Expositionen durch verschiedene NIS-Quellentypen erfasst werden, wird gezielt nach Wohnungen gesucht, an denen aufgrund räumlicher Nähe zu einer NIS-Quelle (z.B. Nähe Bahnlinie) überdurchschnittlich hohe Feldstärken durch diese „primäre“ Quelle zu erwarten sind. In Bezug auf andere, „sekundäre“ NIS-Quellen ist die entsprechende Wohnung aber quasi zufällig ausgewählt. Es kann deshalb angenommen werden, dass die gesamte Stichprobenmenge der Spot-Messorte bezüglich sekundärer, externer NIS-Quellen für die Exposition der Wohnbevölkerung in den Mikroumgebungen mit Spot-Messungen näherungsweise repräsentativ verteilt ist. Bei der Auswahl der Standorte wurden, nach Möglichkeit, folgende Kriterien berücksichtigt:

- Standort liegt in Mikroumgebung
- Innerhalb bestimmter Distanz zur ausgewählten primären Quelle
- In jedem Kanton mindestens ein Standort
- Berücksichtigung unterschiedlicher Haustypen

Die einzelnen Standorte wurden in Bezug auf folgende Quellsituationen gezielt ausgewählt:

Tabelle 7: Verteilung der ausgewählten Standorte im Hinblick auf eine primäre NIS-Quelle, welche mutmasslich einen Einfluss auf die Expositionssituation hat.

Primäre Quelle	Untertypen (z. B. Sendeleistung / Spannung)	Distanz [m]	Anzahl geplant bis 2025	Anzahl gemessen *)
Mobilfunk	Mobilfunk	50-150	32	29
Radio/TV	Bis 10 kW	100	5	4
	>10 bis 50 kW	500	3	3
	50 bis 200 kW	2'000	3	2
Strom	Höchstspannungsleitungen 220/380 kV	200	7	6
	Hochspannungsleitungen 36-150kV	100	7	5
	Hochspannungsleitungen 1-36kV	50	5	5
	Niederspannungsleitungen 240/400V	20	3	0
	Unterwerke	200	2	0
	Trafostationen	20	3	1
Eisenbahn	Einspurig	50	7	6
	Zweispurig	100	11	7
	Tunnel einspurig	50	3	2
	Tunnel zweispurig	100	4	1
	Tram	20	5	1
Total			100	72

*) total bis inkl. Q1 / 2025

Für jeden Standort werden drei bis fünf Gebäude definiert, bei denen Kontakt mit den Eigentümern aufgenommen wird. Grund dafür ist, dass nicht alle Eigentümer erreicht werden können oder Messungen in ihren Wohnungen zulassen möchten. Bei rund 20 Messpunkten in Mehrfamilienhäusern ist vorgesehen, jeweils auf zwei Etagen zu messen. Damit werden bis Ende 2025 insgesamt rund 120 Spot Messungen an 100 Standorten resultieren. Bis Ende April 2025 wurden 90 Spot-Messungen an 73 Standorten durchgeführt.

Die Information des Haustyps wird dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) des Bundesamtes für Statistik (BFS), basierend auf der Gebäudekategorie (GKAT; enthält Informationen zur Wohnnutzung) und Gebäudeklasse (GKLAS; enthält Informationen zur Gebäudeklassierung), entnommen:

- Einfamilienhaus: Wohngebäude mit einer Wohnung
- Mehrfamilienhaus: Wohngebäude mit zwei oder mehr Wohnungen
- teilweise Wohnnutzung: Wohngebäude mit zwei oder mehr Wohnungen, die gemäss GWR auch gewerbliche Räumlichkeiten enthalten
- Bauernhaus: landwirtschaftliche Gebäude mit Wohnnutzung

Abbildung 6 zeigt die Anzahl Messungen gegliedert nach Haustyp für die bereits durchgeführten Messungen (grün), sowie die jeweils angestrebte Anzahl Messungen, um eine repräsentative Stichprobe der Wohnsituation der Schweizer Bevölkerung zu erreichen (orange):

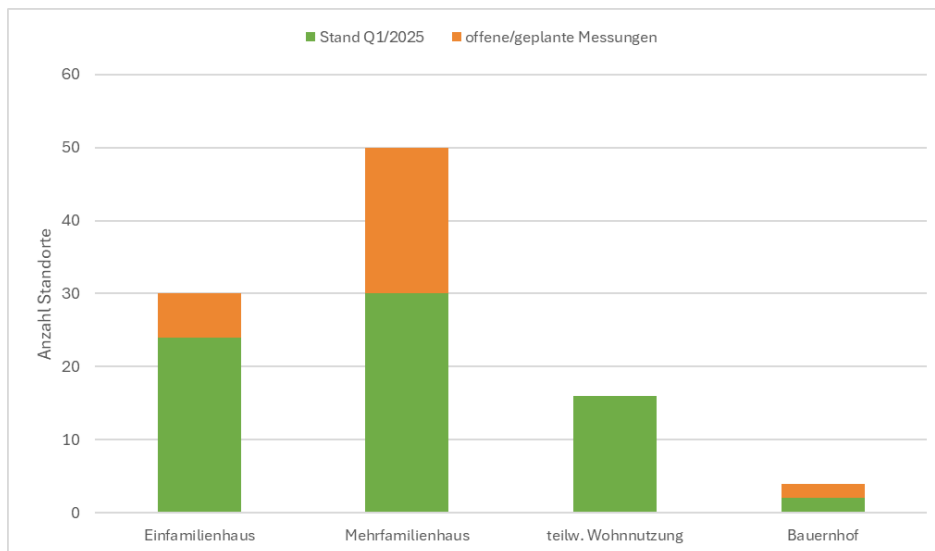


Abbildung 6: Aufteilung der Spotmesspunkte nach Gebäudetypen und Messstand: bereits durchgeführt (grün), noch offen bzw. geplant (orange)

Übersicht der Spotmessungen (Stand: April 2025)

Spotmessungen

- bis April 2025 gemessen
- nach April 2025 geplant

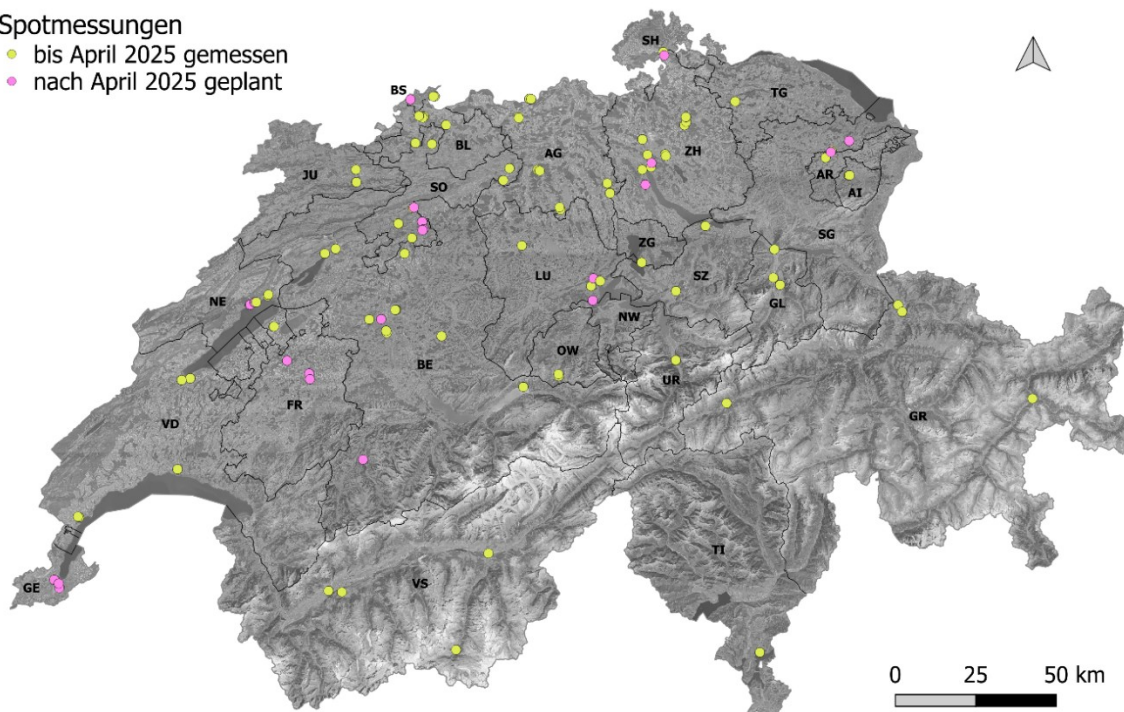


Abbildung 7: Die Verteilung der 100 Standorte der Spotmessungen, die zwischen 2021 und 2025 in der ganzen Schweiz gemessen werden, wobei die bis März 2024 gemessenen Standorten in Gelb und die nach März 2025 geplanten Standorten in Rosa dargestellt sind. Detaillierte Informationen zu den Standorten und zum Gebäudetyp der bis zum Auswertungszeitpunkt vorhandenen Daten können Tabelle 48 im Anhang entnommen werden. Kartenquelle: Hintergrundkarte – Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>

2.4.4 Stationäre Dauermessungen

Die Stationären Dauermessungen werden an ausgewählten Unternehmensstandorten des Projektkonsortiums betrieben, um die Sicherheit (Beschädigung, Zugänglichkeit, Störwirkungen) und die Wartung (Infrastruktur, Stromversorgung, Internetanschluss) gewährleisten zu können. Die Auswahl der Standorte erfolgte anhand von HF-Quellen in der Nähe der Standorte und der Gemeindetypologie. Die Messorte, an denen stationäre Dauermessungen durchgeführt werden, sind in Tabelle 8 und in Abbildung 8 aufgeführt. Neben unterschiedlicher Gemeindetypologien sind auch verschiedene Quellsituationen abgedeckt: Die Standorte in Deitingen und Aarau zeichnen sich durch viele nahe HF-Quellen aus, die Standorte in Allschwil und Zürich sind im Einflussbereich von TV/Radioantennen mit grosser Leistung. Bei den Standorten in Allschwil, Zürich und Aarau befinden sich öffentliche Bereiche und OMEN in direkter Umgebung. Zudem liegen die fünf Standorte sowohl in Gebieten mit sehr hoher Bevölkerungsdichte als auch in dünn besiedelten Gebieten.

Alle fünf Messstationen sind seit 1. Januar 2023 operativ und erfassen kontinuierlich die HF-Immissionen.

Übersicht der stationäre Dauermessungen

● Langzeit-Messstation

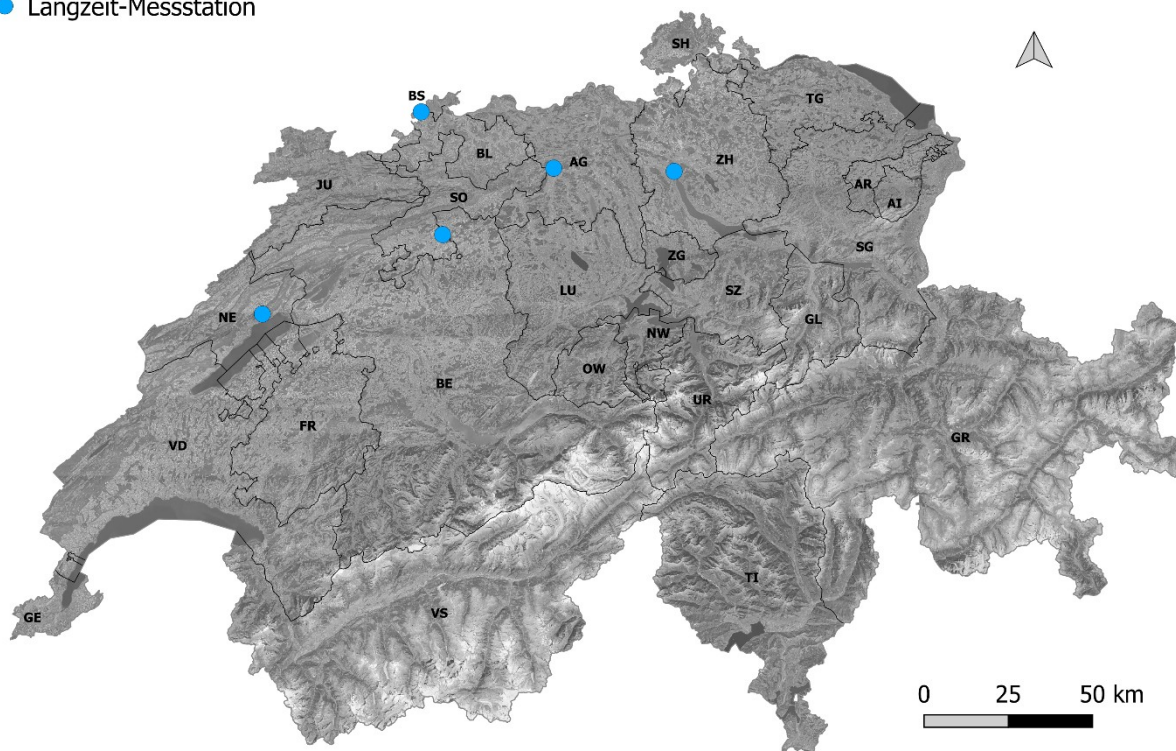


Abbildung 8: Karte der Schweiz mit den 5 Messorten (blaue Punkte) für die stationäre Dauermessungen. Quelle Hintergrundkarte: Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>

Tabelle 8: Standorte für die Stationären Dauermessungen.

Messstandort	Anschrift	Position Messgerät	Gemeindetypologie
Fields at Work - ETH Zentrum ET Gebäude	Gloriastrasse 35 8092 Zürich	Auf dem Dach	Urbanes Stadtzentrum
Swiss TPH - Belo Horizonte	Kreuzstrasse 2 4123 Allschwil	Auf dem Dach	Industriegebiet
G+P - Aarau	Entfelderstrasse 45 5000 Aarau	Auf dem Dach	Urbanes zentrales Wohngebiet
G+P - Deitingen	Schachenstrasse 5 4543 Deitingen	Dachterrasse	Urbanes dezentrales Wohngebiet
G+P - Neuchâtel	Avenue du Peyrou 8 2000 Neuchâtel	Dachterrasse	Urbanes zentrales Wohngebiet

2.5 Datenmanagement

2.5.1 Messdateien und Datenbank

Die in den Messungen erzeugten Rohdaten lassen sich in zwei Kategorien gliedern: Messdaten und Metadaten. Messdaten werden auf Messpunktebene erfasst und enthalten die NF- und HF-Messwerte. Metadaten beschreiben die Eigenschaften der Messung wie z.B. Informationen zum Messgerät oder dem Messstandort und werden auf Messungsebene gesammelt. Um dies abzubilden, und neben der nötigen Datensicherung, Nachverfolgung und Dokumentation auch Datenaggregationen zu ermöglichen, werden die Daten in einer zentralen Datenbank verwaltet. Wie in Abbildung 9 schematisch dargestellt, besteht diese aus drei Ebenen:

- Level 0: Datenablage der Rohdateien in einem FTP-Verzeichnis. Dies ist einerseits die Import-schnittstelle der von den Messgeräten erzeugten Messdaten und weiteren zusammengestellten Metadaten, dient andererseits auch der Dokumentation der ursprünglichen, unveränderten Rohdaten («raw»). In einem Vorverarbeitungsschritt werden diese Rohdateien je Messung aufbereitet (Zuordnung zu Messungen, Zeitstempel, GPS-Signal, etc.) und stehen so («pro») für das Einlesen in Level 1 bereit.
- Level 1: zusammengefasste, vereinheitlichte Datenspeicherung in drei Tabellen (siehe Abbildung 9: «dataElf», «dataRf» und «metaMeas») einer MySQL Datenbank. Nach dem automatisierten Einlesen aus Level 0 werden die Messdaten hier aufbereitet und weiterverarbeitet (siehe Abschnitt 2.5.2). Dies geschieht durch externe R-Skripte. Eine direkte Nachverfolgung aller Datenoperationen ist einerseits durch das integrierte Versions-Management, andererseits durch das redundante Abspeichern (kein Überschreiben) der erzeugten Daten gegeben. Zusätzlich zur automatisierten Datenverarbeitung finden manuelle Tests zur Qualitätskontrolle statt.
- Level 2: Aggregationsebene der MySQL Datenbank. Die aufbereiteten Daten aus Level 1 werden entsprechend den gewünschten Auswertungen gefiltert und räumlich, zeitlich oder nach Kategorien etc. aggregiert. Dies gibt die Möglichkeit reproduzierbar vergleichende Analysen periodisch zu erzeugen und abzuspeichern.

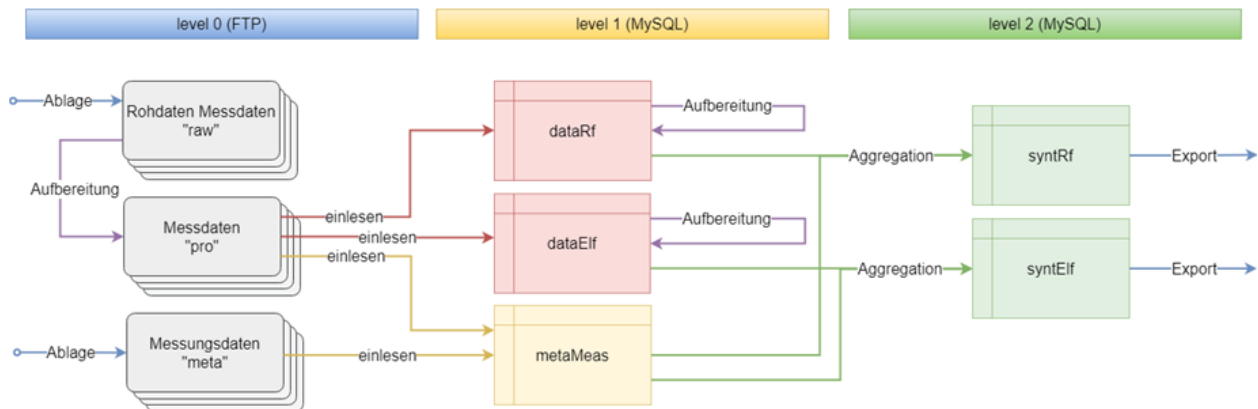


Abbildung 9: Vereinfachtes Schema der Datenbankstruktur

2.5.2 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung und Analyse der Routen- und Spotmessungen sind grundsätzlich identisch. Bei den Routenmessungen werden anhand des Aktivitätsprotokolls (vgl. Abschnitt 2.3.1) die Messdaten der richtigen Mikroumgebung zugeordnet und entsprechend in der Datenbank abgelegt. Bei den Spotmessungen werden die Daten analog den drei Teilmessungen zugewiesen. In einem ersten Schritt wird visuell die Plausibilität der Daten überprüft und Fehler im Messablauf (wie z.B. Abbruch des Messvorgangs) identifiziert. Anschliessend wird anhand von Korrelationsanalysen gemäss [8] mögliches Übersprechen (Crosstalk) zwischen benachbarten Frequenzbändern korrigiert (detaillierte Beschreibung der Crosstalk-Korrektur siehe Kapitel 2.2.6). Für die weitere Datenanalyse werden die Bänder in verschiedene Frequenzgruppen aggregiert und innerhalb davon quadratisch addiert. Die Definition der Frequenzgruppen erfolgt anhand von deren technischen Anwendung bzw. Herkunft.

Die HF-Bänder wurden in sieben Gruppen eingeteilt. Die Nummern dieser funktionellen Frequenzbänder sind in Tabelle 2 aufgeführt:

- Rundfunk: Diese Kategorie umfasst Radio, DAB, TV in den Frequenzbändern 1 bis 8.
- Mobilfunk Uplink (Emissionen der Endgeräte): Dies entspricht den Bandnummern 9, 13, 14, 17, 20, 23.
- Mobilfunk Downlink (Emissionen von Basisstationen): Dies entspricht den Bandnummern 11, 12, 15, 16, 18, 21, 25.
- Mobilfunk TDD: Ein Spezialfall stellen die Time Division Duplexing (TDD) Frequenzbänder dar (743-753 MHz, 2570-2615 MHz sowie 3500 -3800 MHz), welche zeitversetzt für Up- und Downlink genutzt werden. Das bedeutet, dass aufgrund der Frequenz keine funktionelle Zuteilung in Up- und Downlink möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass bei Aussenmessungen (ohne eigenes Mobiltelefon) die Exposition durch Downlink dominiert wird, während in öffentlichen Verkehrsmitteln und in öffentlich zugänglichen Innenräumen der Uplink auch eine wichtige Rolle spielen dürfte. Dies entspricht den Bandnummern 10, 24, 26, 27, 28.
- WLAN: Die Bandnummern 22 und von 29 bis 35.
- Schnurlostelefon (DECT): Die Bandnummer 19.

- Totale HF-EMF¹ ($E_{res,i}$): Die quadratische Summe aller gemessenen Bänder:

$$E_{res,i} = \sqrt{\sum_{f \in \{1, \dots, 35\}} E_{f,i}^2} \quad (1)$$

Wobei

- $E_{f,i}$ für einen HF-Wert der elektrischen Feldstärke am Punkt i mit der Frequenzband Nummer f steht;
- $E_{res,i}$ für die Resultierende der elektrischen Feldstärke am Punkt i steht.

Für niederfrequente Magnetfelder wird folgende Frequenzgruppierung durchgeführt (Bandnummern gemäss Tabelle 3):

- Eisenbahnstrom: das Hauptband entspricht Bandnummer 2 und die Oberwelle befindet sich innerhalb von Bandnummer 3. Auf ein eigenes Band für die Oberwelle wurde verzichtet, weil deren Amplitude bei Testmessungen vernachlässigbar war.
- Haushaltsstrom: das Hauptband entspricht Bandnummer 4 und die Oberwellen sind die Bandnummern 6 und 8.
- Tram-Rippelstrom (gleichgerichteter Dreiphasen-Drehstrom): das Hauptband entspricht Bandnummer 10 und die Oberwellen sind die Bandnummern 12 und 14.
- Totale NF-MF ($B_{res,i}$): Dies entspricht der quadratischen Summe der drei vorherigen Bandgruppen, d.h. ohne Berücksichtigung der unspezifischen Zwischenbänder:

$$B_{res,i} = \sqrt{\sum_{f \in \{2,4,6,8,10,12,14\}} B_{f,i}^2} \quad (2)$$

wobei

- $B_{f,i}$ für einen NF-Wert der magnetischen Flussdichte am Punkt i mit dem Frequenzband Nummer f steht;
- $B_{res,i}$ für die Resultierende der magnetischen Flussdichte am Punkt i steht.

¹ Es sei erwähnt, dass diese Form der Mittelwertbildung nur für Effektivwerte (RMS) physikalisch zutreffend ist. Zur Vereinfachung der Darstellung werden trotzdem im Folgenden mit der gleichen Methodik auch Summen bzw. Mittelwerte von Peak-Werten gebildet. Die Peak-Werte verschiedener Frequenzen treten aber während eines Messintervalls im Allgemeinen zu verschiedenen Zeitpunkten auf. Das bedeutet einerseits, dass die Summe der Peak-Werte für verschiedene Frequenzen zu einer Überschätzung der ausgewiesenen Peak-Werte führt. Andererseits ist zu beachten, dass während eines Messintervalls von sechs Sekunden alle Frequenzbänder nacheinander gescannt werden. Somit können kurzfristige Peaks verpasst werden, was zu einer Unterschätzung der Peakwerte beiträgt. Das gewählte Vorgehen hat den Vorteil, dass es ein robustes Mass bildet, welches aussagekräftig die typische zeitliche Dynamik zwischen Mittelwert und Peak-Werten wiedergibt (sogenannter Crest-Faktor).

2.5.3 Deskriptive Statistik

Bei HF-Messungen wird die Datenanalyse sowohl für die RMS-Werte wie auch für die Peak-Werte durchgeführt sowie separat für jedes funktionelle Frequenzband. Bei NF-Messungen werden die RMS-Werte gemessen und analysiert. Da nicht bekannt ist, welche Parameter der Exposition biologisch am relevantesten sind, werden eine Vielzahl möglicher Expositionsmasse evaluiert. Alle Daten werden nach Messumgebungstyp oder Primärquelle aggregiert und die Verteilung der Messungen mit Boxplots für die HF-Werte (RMS und Peak) und NF-Werte (RMS) gezeigt. Für die pro Messumgebungstyp aggregierten Daten werden die folgenden Summenstatistiken berechnet: Minimum, Maximum, verschiedene Perzentile (05., 25., 50. (Median), 75., 95.), arithmetische und quadratische Mittelwerte. Der arithmetische Mittelwert und der quadratische Mittelwert (RMS) für die HF-Werte sowie für die NF-Werte werden gemäss den Gleichungen (3), (4), (5) und (6) berechnet.

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_i^n E_{res,i} \quad (3)$$

$$E^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n E_{res,i}^2} \quad (4)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_i^n B_{res,i} \quad (5)$$

$$B^{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n B_{res,i}^2} \quad (6)$$

wobei

- n für die Anzahl der gesammelten Daten in der Messumgebung steht;
- $E_{res,i}$ für die Resultierende der elektrischen Feldstärke am Punkt i steht;
- $\bar{E}$ der arithmetische Mittelwert der elektrischen Feldstärke in der Messumgebung ist;
- E^{RMS} der quadratische Mittelwert der elektrischen Feldstärke in der Messumgebung ist;
- $B_{res,i}$ für die Resultierende der magnetischen Flussdichte am Punkt i steht;
- $\bar{B}$ der arithmetische Mittelwert der magnetischen Flussdichte in der Messumgebung ist;
- B^{RMS} der quadratische Mittelwert der magnetischen Flussdichte in der Messumgebung ist;

Der durchschnittliche Quellenbeitrag für eine bestimmte Frequenzgruppe wird wie folgt ermittelt:

$$prop_{HF\ Quelle} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n E_{HF\ Quelle,i}^2}{E_{RMS}^2} \quad (7)$$

$$prop_{NF\ Quelle} = \frac{\frac{1}{n} \sum_i^n B_{NF\ Quelle,i}^2}{B_{RMS}^2} \quad (8)$$

wobei

- n für die Anzahl der gesammelten Daten in der Messumgebung steht;
- E_{RMS} der quadratische Mittelwert der elektrischen Feldstärke in der Messumgebung ist;
- $E_{HF\ Quelle,i}$ die Resultierende der elektrischen Feldstärke bezeichnet, die der in Kapitel 2.2.3 definierten Frequenzgruppe (e.g. Downlink, Uplink, TDD, Rundfunk, WLAN, DECT) entspricht;
- $prop_{HF\ Quelle}$ der durchschnittliche Beitrag der HF-Frequenzgruppe zum gesamten elektrischen Feld in einer Messumgebung ist;
- B_{RMS} der quadratische Mittelwert der magnetischen Flussdichte in der Messumgebung ist;
- $B_{NF\ Quelle,i}$ die Resultierende der magnetischen Flussdichte bezeichnet, die der in Kapitel 2.2.3 definierten Frequenzgruppe (e.g. Eisenbahnstrom, Stromversorgung, Tram-Rippelstrom) entspricht;
- $prop_{NF\ Quelle}$ der durchschnittliche Beitrag der NF-Frequenzgruppe zur gesamten magnetischen Flussdichte in einer Messumgebung ist;

Zusätzlich zu den deskriptiven Analysen pro Messumgebungstyp/Primärquelle, wurde auch für jede einzelne Messumgebung/Primärquelle der RMS-Mittelwert für die elektrische Feldstärke nach Gleichung (4) und der arithmetische Mittelwert für die magnetische Flussdichte gemäss Gleichung (5) berechnet. Unter den N Messumgebungen desselben Typs wird dann das Minimum, das Maximum und das arithmetische Mittel des RMS-Mittelwerts der elektrischen Feldstärke (9) und das arithmetische Mittel des Mittelwerts der magnetischen Flussdichte (10) dargestellt.

$$\overline{E_{ME}} = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{N=1}^{N_{tot}} E_N^{RMS} \quad (9)$$

$$\overline{B_{ME}} = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{N=1}^{N_{tot}} \bar{B}_N \quad (10)$$

wobei

- N_{tot} die Anzahl der Messumgebungen desselben Typs ist;
- E_N^{RMS} der quadratische Mittelwert der elektrischen Feldstärke in der Messumgebung N ist;
- $\overline{E_{ME}}$ der arithmetische Mittelwert der E_N^{RMS} eines Messumgebungstyps (ME) ist;

- $\overline{B_N}$ der arithmetische Mittelwert der magnetischen Flussdichte in der Messumgebung N ist;
- $\overline{B_{ME}}$ der arithmetische Mittelwert der $\overline{B_N}$ eines Messumgebungstyps (ME) ist;

3. Ergebnisse

3.1 Routenmessungen

In Kapitel 3.1.1 werden die Messresultate des Jahres 2024, der Teil des „zweiten Messzyklus der Routenmessungen“ (150 Mikroumgebungen, 108 öffentlichen Orten und 181 Verkehrsmitteln) dargestellt. Neben dem allgemeinen Überblick über alle Messorte wird ein Vergleich aller Messungen mit den Immissionsgrenzwerten (IGW) durchgeführt sowie eine detailliertere Analyse der Messresultate von Schulen und Autos. Ein Vergleich der NIS-Exposition zwischen 2022 und 2024 in denselben Messumgebungen ist in Kapitel 3.1.2 dargestellt.

3.1.1 Analyse der Routenmessungen aus dem Jahr 2024

3.1.1.1 Vergleich der Messumgebungen - HF-Exposition

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die Expositionsverteilung für das Jahr 2024 in den verschiedenen Mikroumgebungen, öffentlichen Bereichen und Verkehrsmitteln. Auf der linken Seite ist die Verteilung der RMS-Werte bzw. Peak-Werte pro Messumgebungstyp als Boxplot dargestellt. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der sechs HF-Quellen eingefärbt: Downlink (orange), Uplink (dunkelblau), Time Division Duplex TDD (violett), Rundfunk (grün), WLAN (hellblau), DECT (rot).

In den *Mikroumgebungen* wurden die höchsten Medianwerte in Industriegebieten (RMS: 0.30 V/m, Peak: 1.88 V/m) gemessen, gefolgt von Stadtzentren (RMS: 0.25 V/m, Peak: 1.42 V/m) und den urbanen zentralen Wohngebieten (RMS: 0.20 V/m, Peak: 1.19 V/m). Generell nehmen Medianwerte mit abnehmender Urbanisierung ab. Die niedrigsten Medianwerte wurden in den Dorfzentren (RMS: 0.08 V/m, Peak: 0.34 V/m) und in den Naturgebieten (RMS: 0.08 V/m, Peak: 0.26 V/m) gemessen. In *öffentlichen Bereichen* sind die Medianwerte an Tramhaltestellen (RMS: 0.38 V/m, Peak: 2.18 V/m), Bahnhöfen (RMS: 0.34 V/m, Peak: 1.98 V/m) und Bushaltestellen (RMS: 0.32 V/m, Peak: 1.80 V/m) am höchsten. Die Medianwerte in Supermärkten (RMS: 0.07 V/m, Peak: 0.50 V/m) und Bibliothek (RMS: 0.04 V/m, Peak: 0.16 V/m) sind hingegen relativ niedrig, da sie sich in geschlossenen Räumen befinden. Bei den *öffentlichen Verkehrsmitteln* sind die medianen RMS- und Peak-Werte in Zügen (RMS: 0.30 V/m, Peak: 2.08 V/m) am höchsten, gefolgt von Trams (RMS: 0.28 V/m, Peak: 2.00 V/m).

Der grösste Anteil der HF-EMF Quellen entfällt in den meisten Messumgebungstypen auf den Downlink. Der Uplink hat einen hohen Anteil in der Seilbahn (RMS: 92%, Peak: 25%), Metro (RMS: 45%, Peak: 41%), und Zügen (RMS: 39%, Peak: 26%). Die höchsten TDD-Beiträge, im Zusammenhang mit 5G, wurden in der Metro (RMS: 24%, Peak: 39%), Zügen (RMS: 21%, Peak: 49%), und Trams (RMS: 18%, Peak: 44%) gemessen. Der Beitrag von WLAN ist in der Bibliothek (RMS: 30%, Peak: 38%), in Zügen (RMS: 11%, Peak: 10%), und Schulen (RMS: 13%, Peak: 51%) am höchsten. DECT (Schnurlose Telefone) sind im Durchschnitt in allen Messumgebungen gering (<2%), ausser in Supermärkten (RMS: 14%, Peak: 12%). Der relative Anteil von Rundfunk, hauptsächlich Digital Audio Broadcasting (DAB) und Frequenzmodulation (FM), dominiert in Naturgebieten (RMS: 47%, Peak: 10%) - hier allerdings aufgrund des geringen absoluten Beitrags der Downlink-Exposition - und in landwirtschaftlichen Gebieten (RMS: 91%, Peak: 96%). Der hohe Beitrag des Rundfunks in landwirtschaftlichen Gebieten ist auf drei Gebiete mit hoher Rundfunkexposition zurückzuführen, was in der Legende zu Abbildung 10 näher erläutert ist.

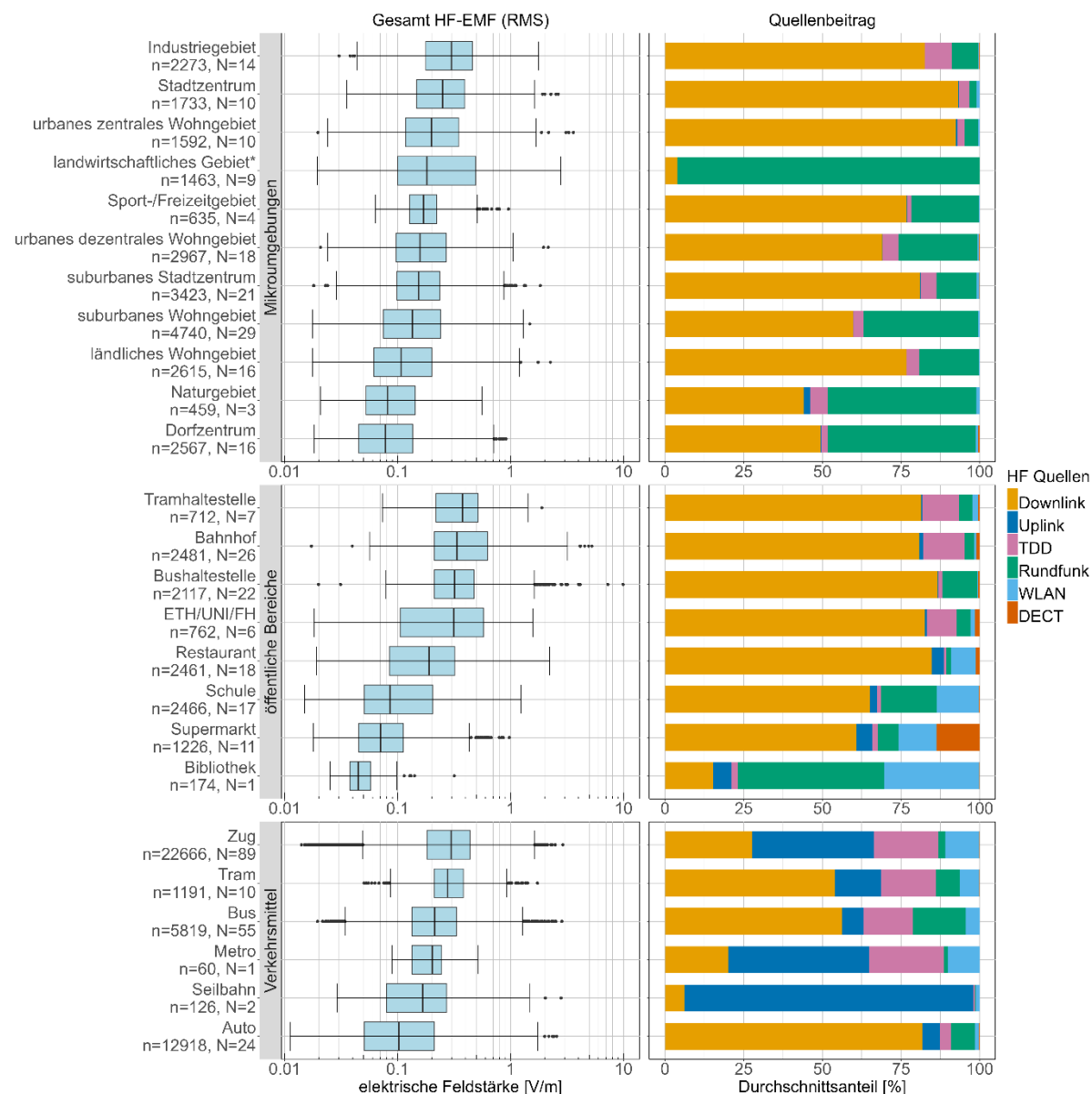


Abbildung 10: Links: Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte für das Jahr 2024 pro Messumgebungstyp sortiert nach Medianwert. Die Mittellinie, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 13, bzw. Tabelle 14 aufgeführt.

*Landwirtschaftliches Gebiet: Von den 9 gemessenen landwirtschaftlichen Gebieten wurden drei Gebiete am Boden bei einem Rundfunksender mit einer Leistung zwischen 300 W und 181 kW gemessen. Alle statistischen Werte sind für landwirtschaftliche Gebiete mit einem Rundfunksender um das Zwei- bis Achtfache grösser als für landwirtschaftliche Gebiete ohne Antenne. Beispielsweise liegt der Medianwert (RMS) für landwirtschaftliche Gebiete ohne Rundfunksender bei 0.11 V/m und für landwirtschaftliche Gebiete mit Rundfunksender bei 0.79 V/m. Der Beitrag zum Rundfunk (RMS) in landwirtschaftlichen Gebieten beträgt ohne Antenne 42%, bzw. 100% mit Antenne. Die mittlere Exposition war in landwirtschaftlichen Gebieten ohne Rundfunksender mit 0.15 V/m bzw. 1.07 V/m ebenfalls sechsmal niedriger als am Boden

bei einem Rundfunksender. Im Jahresbericht 2022 [6] sind die Messresultate für Landwirtschaftsgebiete mit und ohne Rundfunksender separat dargestellt.

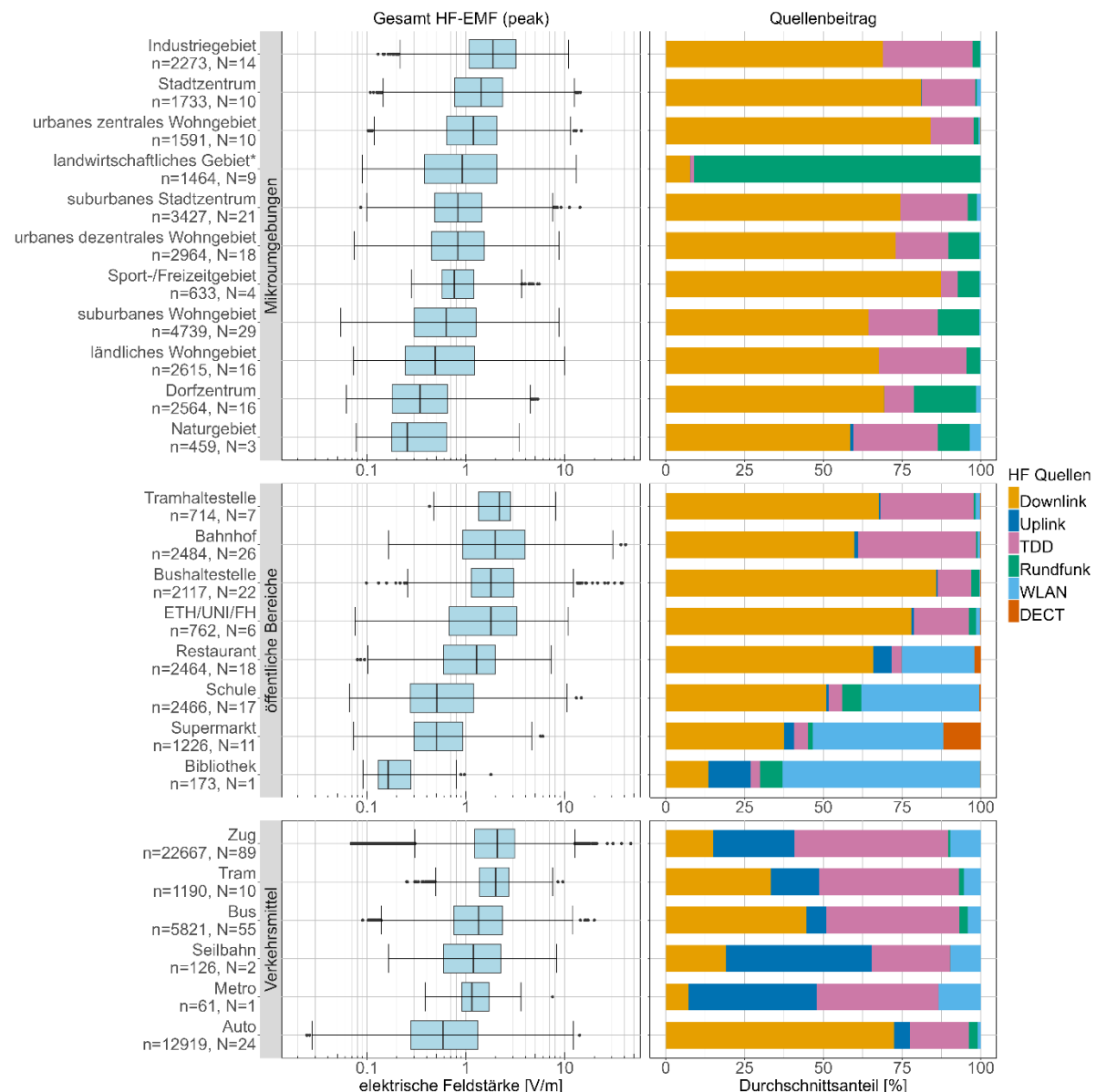


Abbildung 11: Links: Verteilung der Peak HF-EMF Messwerte für das Jahr 2024 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Boxen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 15 bzw. Tabelle 16 aufgeführt. *siehe Legende zu Abbildung 10.

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Verteilungen der mittleren Exposition pro Mikroumgebung für RMS- bzw. Peak-Werte pro Messumgebungstyp für das Jahr 2024. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten Mittelwert pro einzelne Messumgebung. Der Mittelwert der RMS-Werte (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet.

Für die Mittelwerte pro *Mikroumgebung* ergibt sich ein ähnliches Muster wie für die Medianwerte in Abbildung 10 und in Abbildung 11. Die durchschnittliche mittlere Exposition ist in landwirtschaftlichen Gebieten (RMS: 0.46 V/m, Peak: 2.04 V/m), Stadtzentren (RMS: 0.40 V/m, Peak: 2.46 V/m) und Industriegebieten (RMS: 0.39 V/m, Peak: 2.62 V/m) am höchsten. Der maximale Mittelwert einer Mikroumgebung wurde in einem landwirtschaftlichen Gebiet mit einem Radiofunktender (RMS: 1.35 V/m, Peak: 5.93 V/m) gemessen. In *öffentlichen Bereichen* ist die durchschnittliche mittlere Exposition an Bahnhöfen (RMS: 0.56 V/m, Peak: 3.57 V/m) und Bushaltestellen (RMS: 0.49 V/m, Peak: 2.66 V/m) am höchsten. Bei den *öffentlichen Verkehrsmitteln* ist die mittlere Exposition in Seilbahnen (RMS: 0.42 V/m, Peak: 2.96 V/m) und Zügen (RMS: 0.37 V/m, Peak: 2.76 V/m) am höchsten.

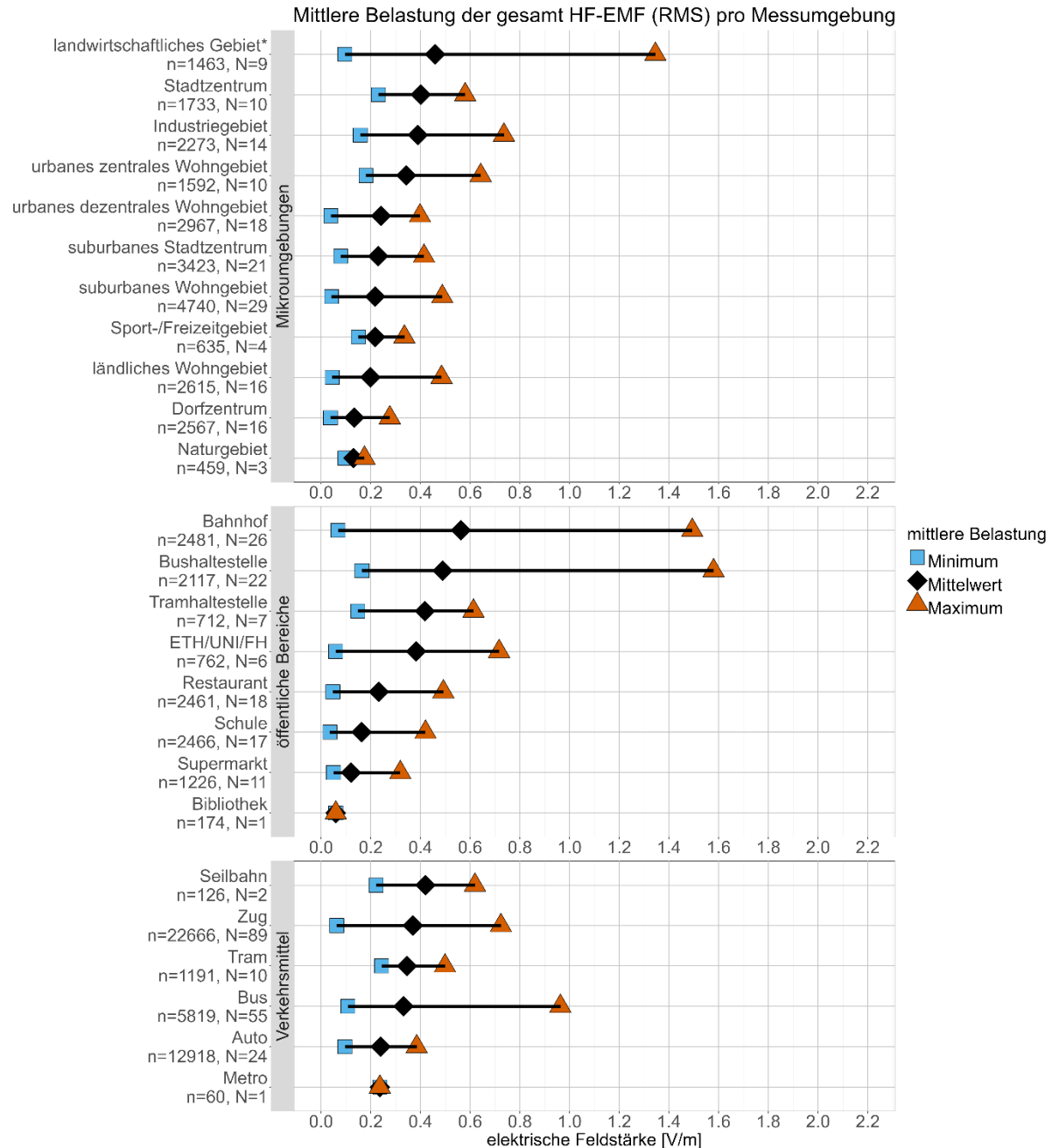


Abbildung 12: Bereich der mittleren RMS HF-EMF Messwerte pro Messumgebung für das Jahr 2024. Der Mittelwert des RMS-Werts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten RMS-Wert pro einzelne Messumgebung. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Daten sind in Tabelle 17 aufgeführt. * siehe Legende zu Abbildung 9.

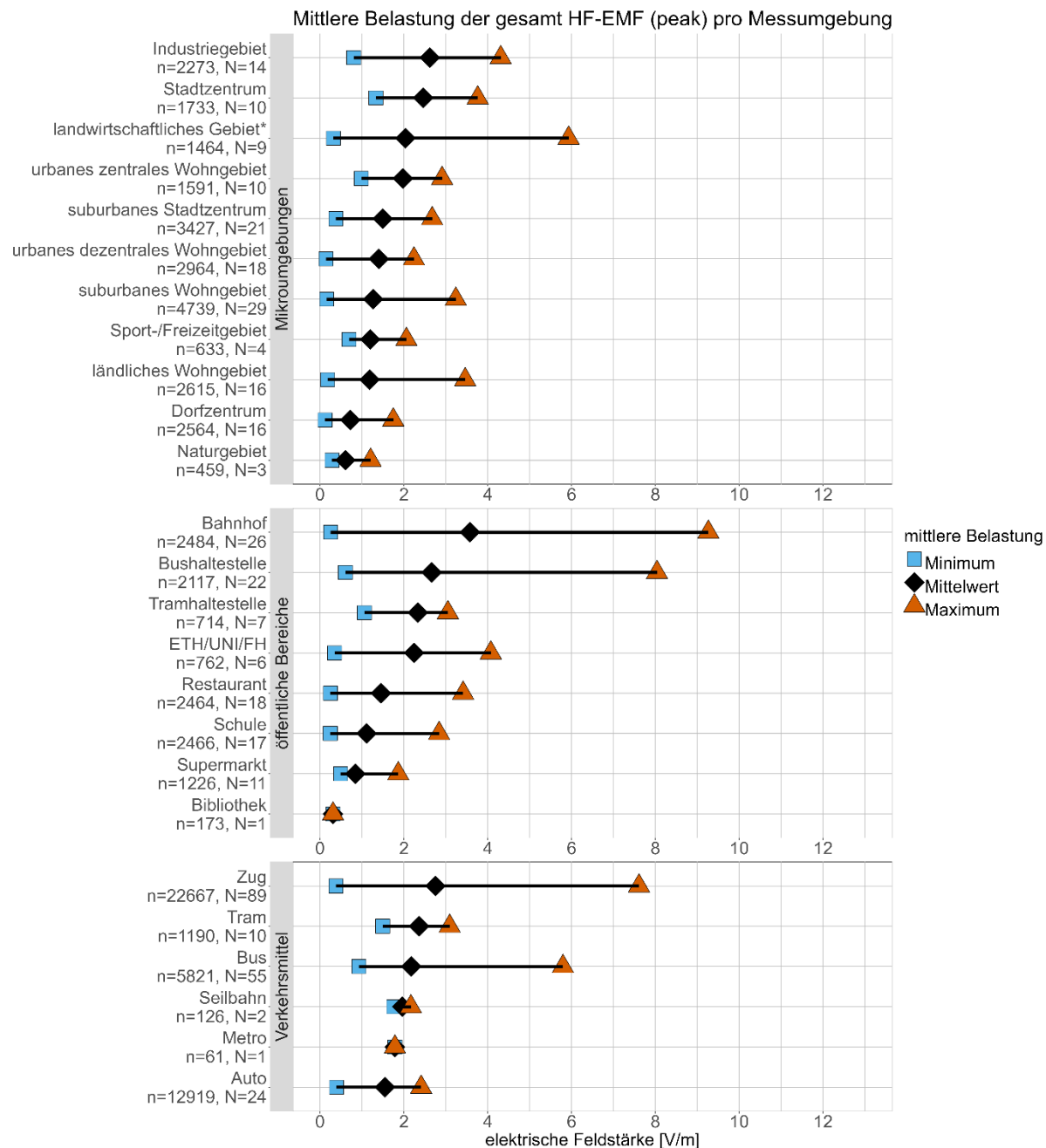


Abbildung 13: Bereich der mittleren Peak HF-EMF Messwerte pro Messumgebung für das Jahr 2024. Der Mittelwert des RMS-Werts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten RMS-Wert pro einzelne Messumgebung. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Daten sind in Tabelle 18 aufgeführt. * siehe Legende zu Abbildung 9.

3.1.1.2 Vergleich der Messumgebungen - NF-Exposition

Abbildung 14 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte pro Messumgebungs-typ für das Jahr 2024 der Routenmessungen in den verschiedenen Mikroumgebungen, öffentlichen Bereichen und Verkehrsmitteln. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der drei Hauptquellen niederfrequenter Magnetfelder eingefärbt: Eisenbahnstrom (gelb), Stromversorgung (pink) und Tram-Rippelstrom (violett).

In den *Mikroumgebungen* wurden die höchsten NF-MF-Medianwerte in den Stadtzentren (0.19 μ T) gemessen, gefolgt von urbanen zentralen (0.17 μ T) und dezentralen (0.15 μ T) Wohngebieten. Die Medianwerte nehmen tendenziell mit abnehmender Urbanisierung ab. Die niedrigsten Medianwerte wurden in Naturgebieten (0.05 μ T), landwirtschaftlichen Gebieten (0.03 μ T) sowie in Sport-/Freizeitgebieten (0.02 μ T) gemessen. In *öffentlichen Bereichen* sind die Medianwerte an Bahnhöfen (0.39 μ T) und Tramhaltestellen (0.24 μ T) am höchsten, während die Medianwerte in Schulen (0.04 μ T) und Bibliothek (0.03 μ T) relativ niedrig sind. Bei den *öffentlichen Verkehrsmitteln* sind die Medianwerte in Zügen am höchsten (0.44 μ T), gefolgt von Tram (0.22 μ T), während die Medianwerte in Autos² (0.09 μ T), Bussen und der Metro (0.08 μ T) sowie in zwei Seilbahnen (0.02 μ T) relativ niedrig sind.

Der Beitrag der Stromversorgung ist in allen *Mikroumgebungen* (51-97%) mit Ausnahme von suburbanen Stadtzentren (46%) und Naturgebieten (5%) dominant. Der Beitrag des Eisenbahnstroms ist in Zügen und Bahnhöfen (100%), und Hochschulen (99%) aufgrund der Nähe zu Bahnstromleitungen am höchsten. Der Anteil des Tram-Rippelstroms beträgt 51% an Tramhaltestellen und 7% in Trams.

² Man beachte in Autos, dass magnetisierte Reifen je nach Fahrgeschwindigkeit im ganzen Tieffrequenzspektrum Magnetfelder emittieren können. In unserer Analyse berücksichtigen wir nur die Emissionen in den 16.7 Hz, 50 Hz, und 300 Hz Frequenzbändern und ihre Oberwellen.

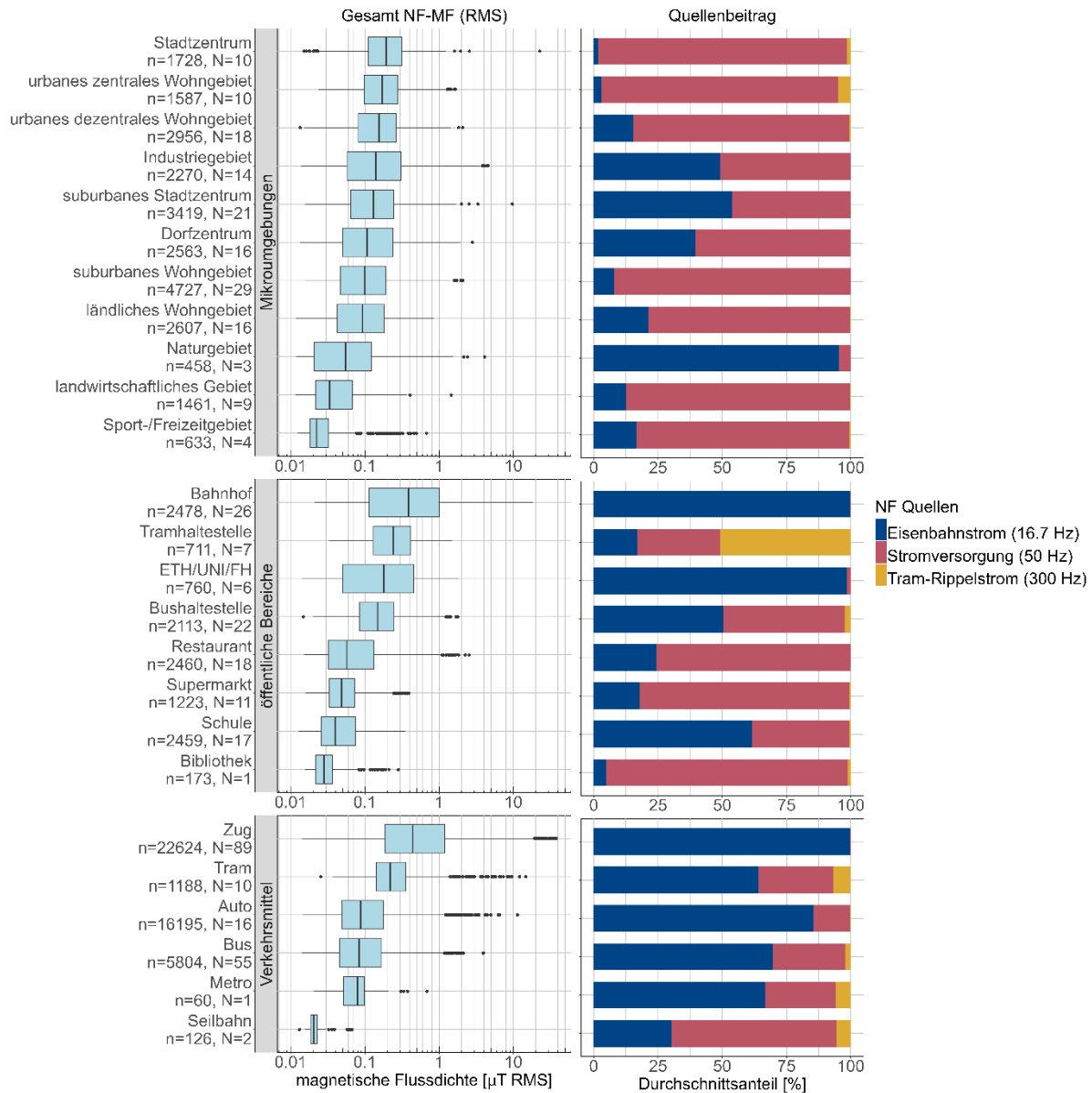


Abbildung 14: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte für das Jahr 2024 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kasten, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen sind berücksichtigt: Eisenbahnstrom (16.7 Hz), Stromversorgung (50 Hz), und Tram-Rippelstrom (300 Hz) mit ihren jeweiligen Harmonischen. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 19 bzw. Tabelle 20 aufgeführt.

Abbildung 15 zeigt die Verteilungen der mittleren Exposition der gesamten NF-Exposition pro Messumgebungstyp für das Jahr 2024. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten Mittelwert pro einzelne Messumgebung. Der Mittelwert der Mittelwerte (schwarze Raute) wird nach Gleichung (10) berechnet.

Im Allgemeinen ist für die Mittelwerte pro Messumgebung das gleiche Muster wie in Abbildung 14 für die Medianwerte zu beobachten. In den *Mikroumgebungen* wurden die höchste mittlere Exposition in den Industriegebieten ($0.30 \mu\text{T}$) gemessen, gefolgt von Stadtzentren ($0.26 \mu\text{T}$). Die maximale Exposition findet sich in einem Industriegebiet ($1.12 \mu\text{T}$) in der Nähe eines Kraftwerks. In *öffentlichen Bereichen* wurde die höchste mittlere Exposition an Bahnhöfen ($0.77 \mu\text{T}$) gemessen, wobei die maximale mittlere Exposition bis $2.62 \mu\text{T}$ reicht. Bei den *öffentlichen Verkehrsmitteln* ist die mittlere Exposition in Zügen ($1.29 \mu\text{T}$) am höchsten und die maximale mittlere Exposition erstreckt sich bis $10.15 \mu\text{T}$.

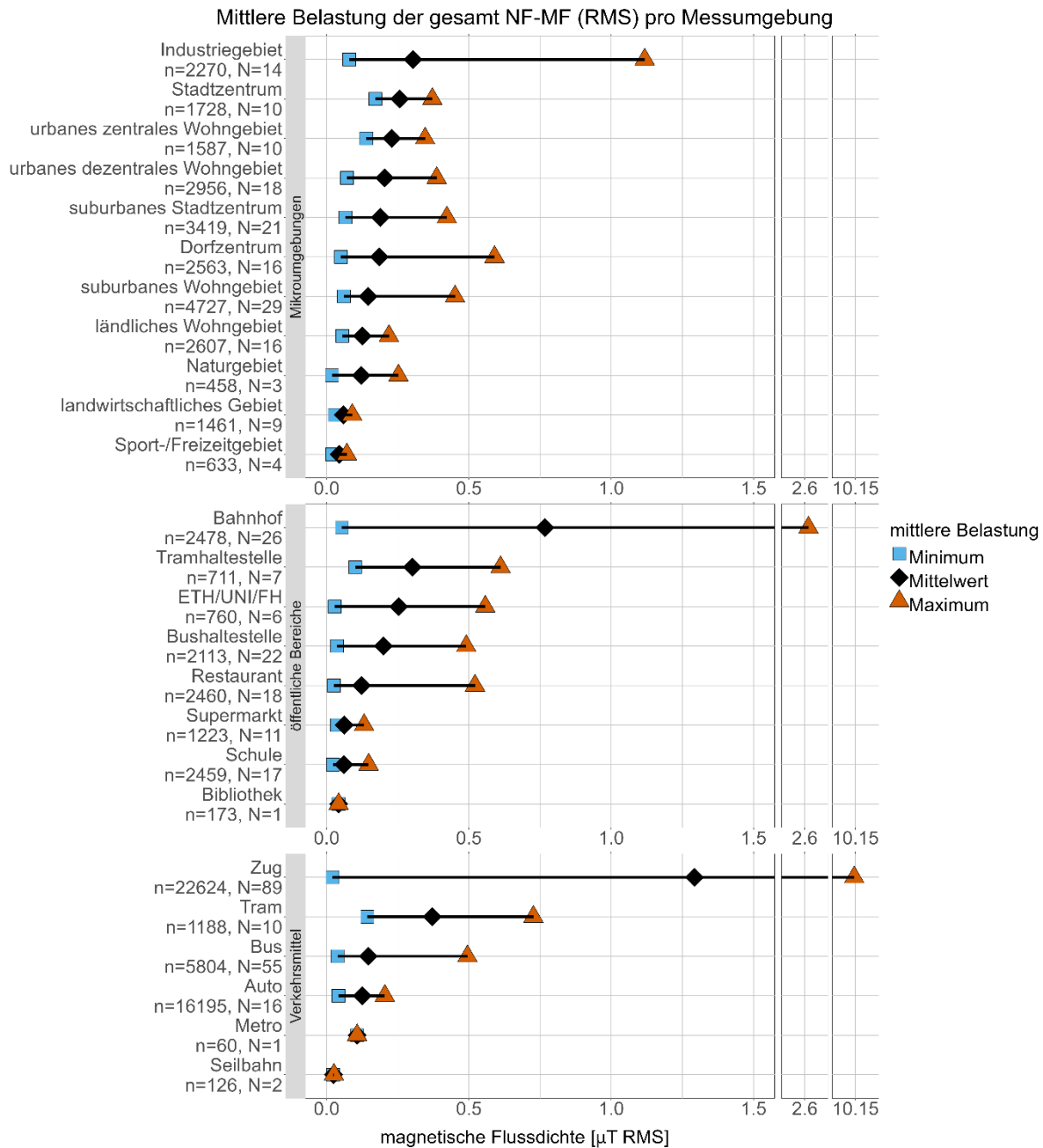


Abbildung 15: Bereich der mittleren NF-MF Messwerte pro Messumgebung für das Jahr 2024. Der Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (10) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils der tiefsten und höchsten arithmetischen Mittelwerte pro einzelne Messumgebung. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Damit auch die maximalen Mittelwerte gezeigt werden können, die teils deutlich höher als die der restlichen Messungen ausfallen, ist die x-Achse zwischen 1.5 μT und 10.15 μT zweimal unterbrochen. Die Daten sind in Tabelle 21 aufgeführt.

3.1.1.3 Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW)

Abbildung 16 zeigt die Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW) für die NF-Werte (blau) und die HF-Werte (rot) für alle Messroutendaten vom Jahr 2024, berechnet nach der Summationsvorschrift der NISV [1]. Alle Daten wurden nach den drei Arten von Messumgebungen gruppiert (Mikroumgebungen, Öffentliche Bereiche, Öffentliche Verkehrsmittel). Der maximal zulässige Immissionswert ist ein Skalar und hat den Wert 100%. Alle Werte unterhalb von 100% erfüllen die Immissionsgrenzwerte gemäss NISV. Die Maximalwerte liegen bei den NF-Werten bei höchstens 25% und bei den HF-Werten bei höchstens 6%. Mehr als die Hälfte der IGW-Ausschöpfungswerte liegen alle unter 1%.

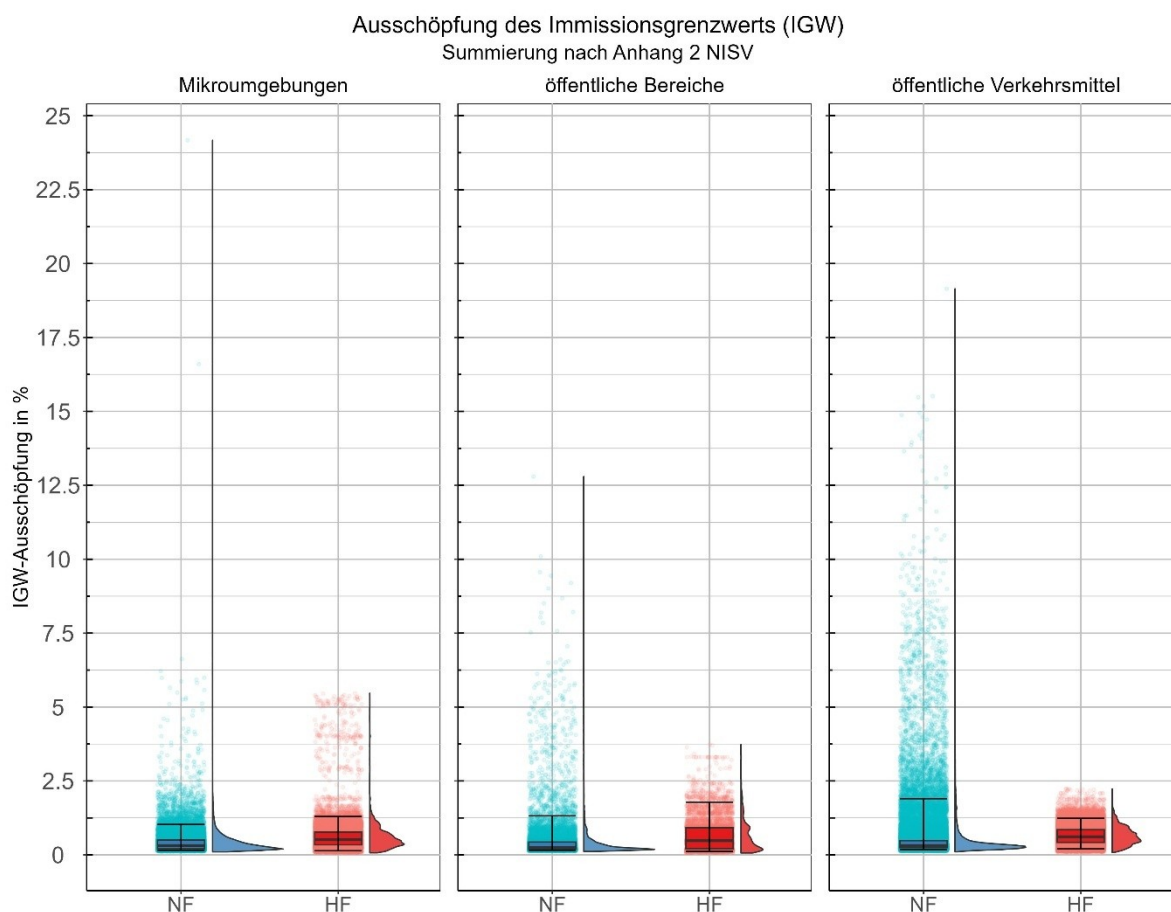


Abbildung 16: Statistische Verteilung der Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts über alle Messpunkte des Jahres 2024. Die verschiedenen Frequenzen wurden nach der Summierungsvorschrift (NISV Anhang 2) addiert. In den Diagrammen sind links die einzelnen Messwerte (bei NF) bzw. die einzelnen 6-Minuten-Mittelwerte (bei HF) als Punkte dargestellt (Jitterplot). In der überlagerten Boxplot-Darstellung zeigt die Mittellinie den Median, die Kästen das 25. und 75. Perzentil und der Bereich das 5. und 95. Perzentil der einzelnen Messwerte. Die jeweils rechts daneben dargestellten Kurven zeigen die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Messwerte (bei NF) bzw. der 6-Minuten-Mittelwerte (bei HF). Die Skalierung des Diagramms ist auf die vorliegenden Werte begrenzt (maximale Ausschöpfung ca. 25%), um die Struktur der Werte sichtbar zu machen.

3.1.1.4 Zusätzliche Analysen in Schulen - HF- und NF-Exposition

In einer vertieften Analyse wurden Messdaten evaluiert, die 2024 in zwei Primarschulen, zwei Sekundarschulen und einem Gymnasium erhoben wurden. Die HF- und NF-Exposition wurde auf dem Pausenplatz, im Freien und im Gebäude, mit und ohne Schüler*innen, sowie auch in den Korridoren gemessen.

Abbildung 17 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der HF-Exposition der RMS-Werte (oben) bzw. Peak-Werte (unten) in Schulen und auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der sechs HF-Quellen eingefärbt. Erwartungsgemäss zeigt sich in den Aussenbereichen («Pausenplatz – aussen») eine leicht höhere HF-Exposition als im Gebäudeinneren («Pausenplatz – innen», «Korridor»). Zudem ist die Exposition auf vollen Pausenplätzen gegenüber derjenigen auf leeren Pausenplätzen leicht erhöht (z.B. «Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen»: RMS: 0.29 V/m, Peak: 1.50 V/m) | «Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen»: RMS: 0.10 V/m, Peak: 0.65 V/m).

Auf den «Pausenplätzen – aussen» stammen die grössten Strahlungsbeiträge von Mobilfunkanlagen (Downlink-Beitrag: RMS: 77 - 78%, Peak: 83 -85%), gefolgt von Rundfunkanlagen (RMS: 21%, Peak: 10-11%). Auf den «Pausenplätzen – innen» stammen in den zwei vermessenen Schulhäusern die grössten Strahlungsbeiträge von WLAN (RMS: 61 - 91%, Peak: 75 - 99%), allerdings auf tieferem Niveau, da die mittlere Belastung im Gebäudeinneren insgesamt gering ist (RMS: 0.11 – 0.18 V/m). Während der Pausen im Gebäudeinneren (d.h. «Pausenplatz innen – mit Schüler*innen») tragen in den drei vermessenen Schulhäusern die Schüler*innen durch die aktive Nutzung ihrer Mobiltelefone leicht zur Erhöhung der Exposition bei (Uplink-Beitrag: RMS: 12%, Peak: 2%).

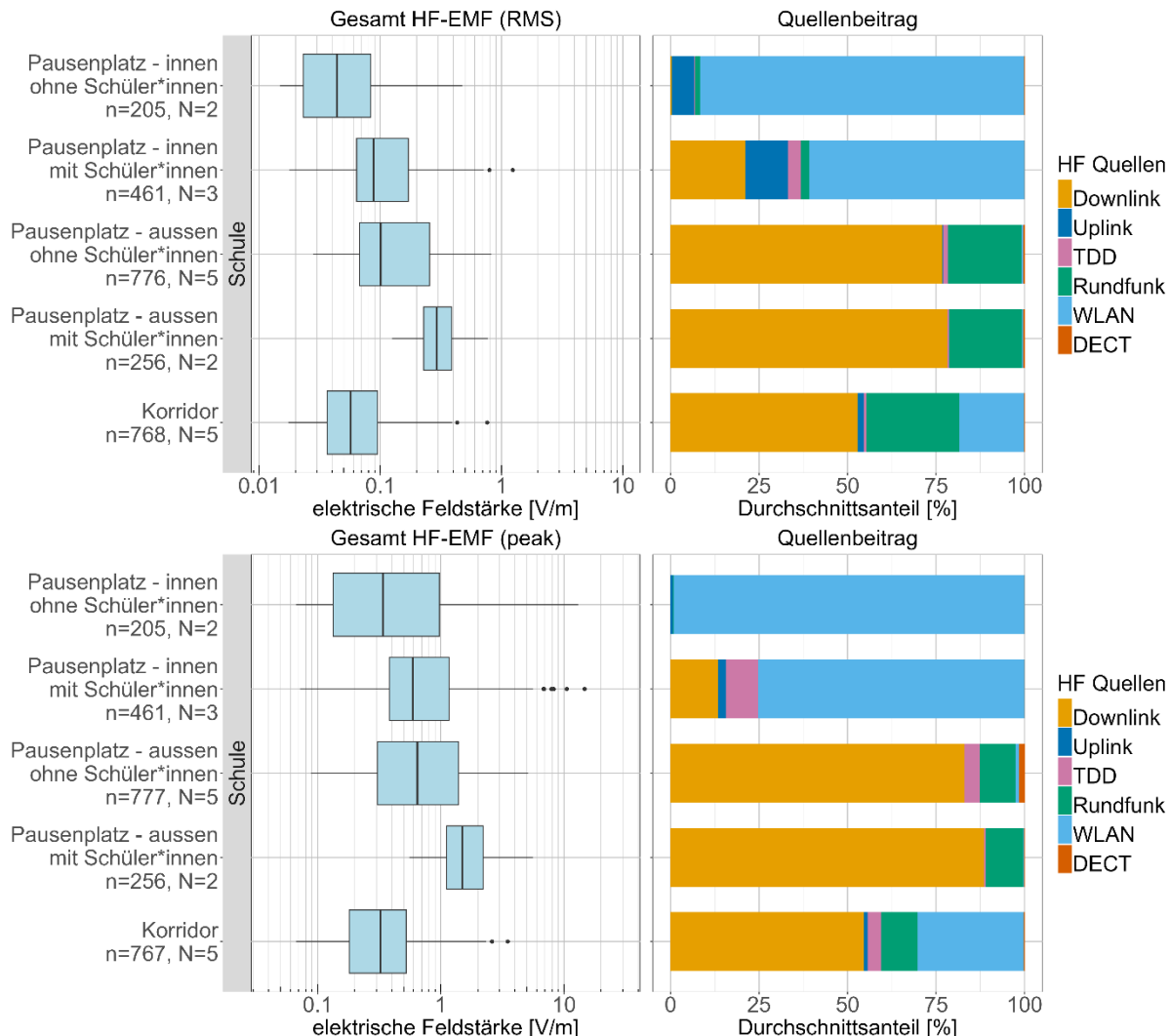


Abbildung 17: Links: Verteilung der RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF Messwerte in fünf Schulen im Jahr 2024. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 22, bzw. Tabelle 23 aufgeführt.

Abbildung 18 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte der NF-Exposition für die verschiedenen Messorte an Schulen und auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der drei Hauptquellen niederfrequenter Strahlung eingefärbt. Generell sind die Medianwerte der NF-MF-Exposition in Schulen niedriger als in allen anderen öffentlichen Bereichen. Die höchsten Medianwerte finden sich auf dem Pausenplatz aussen mit Schüler*innen (0.10 μ T). Die anderen Medianwerte der NF-MF Exposition liegen alle zwischen 0.02 μ T in den Korridoren und 0.06 μ T auf dem Pausenplatz innen ohne Schüler*innen. Die Anwesenheit der Kinder hat keinen Einfluss auf die NF-Werte. Die höheren Werte auf dem Pausenplatz draussen mit Schüler*innen sind mit der Nähe zu einer Eisenbahnlinie erklärbar.

Auf dem Pausenplatz stammt 9 – 97 % der NF-MF Exposition von der Stromversorgung und 2 – 91 % vom Eisenbahnstrom. Letzteres liegt hauptsächlich daran, dass sich zwei dieser fünf Schulen in der Nähe eines Bahnhofs befinden. Beim Vergleich der NF-MF Werte an den verschiedenen Orten im Schulhaus ist bei Abbildung 18 zu beachten, dass nicht an allen Schulen an allen Orten Messungen durchgeführt wurden, und daher der Vergleich massgeblich von der einen Schule in unmittelbarer Nähe der Eisenbahnlinie beeinflusst ist.

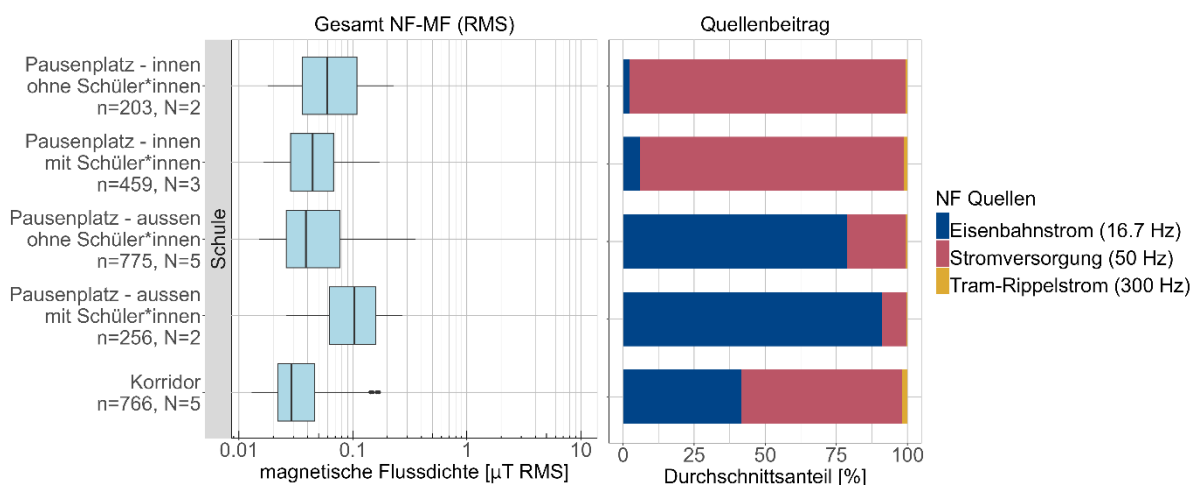


Abbildung 18: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte in fünf Schulen im Jahr 2024. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot \text{IQR}$) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen sind berücksichtigt: Eisenbahnstrom (16.7 Hz), Stromversorgung (50 Hz), und Tram-Rippelstrom (300 Hz) mit ihren jeweiligen Harmonischen. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Abbildung 24 bzw. Tabelle 25 aufgeführt.

3.1.1.5 Zusätzliche Analysen zur HF-Exposition in Autos mit dem Mobiltelefon im Online- und Flugmodus

Abbildung 19 zeigt auf der linken Seite die Verteilung der HF-RMS-Expositionswerte (oben) bzw. Peak-Werte (unten) in Autos bei 16 Fahrten (8 Hin- und Rückfahrten) mit dem Mobiltelefon des Fahrers im Online-Modus (aber nicht verwendet) und im Flugmodus. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der sechs HF-Quellen eingefärbt.

Die Mediane der Exposition sind sowohl mit dem Mobiltelefon im Online-Modus auch im Flugmodus ähnlich (RMS: 0.10 V/m, Peak: 0.59-0.60 V/m). In beiden Situationen stammen die grössten Strahlungsbeiträge vom Downlink (RMS: 82 - 87%, Peak: 72 - 75%). Der Uplink-Anteil ist etwas höher, wenn das Mobiltelefon im Online-Modus (Uplink: RMS: 9%, Peak: 8%) als im Flugmodus (Uplink-Beitrag: RMS: 3%, Peak: 2%). Der TDD-Anteil ist bei den PEAK-Werten grösser als bei den RMS-Werten, und zwar sowohl im Online-Modus (RMS: 4%, Peak: 18%) als auch im Flugmodus (RMS: 4%, Peak: 19%).

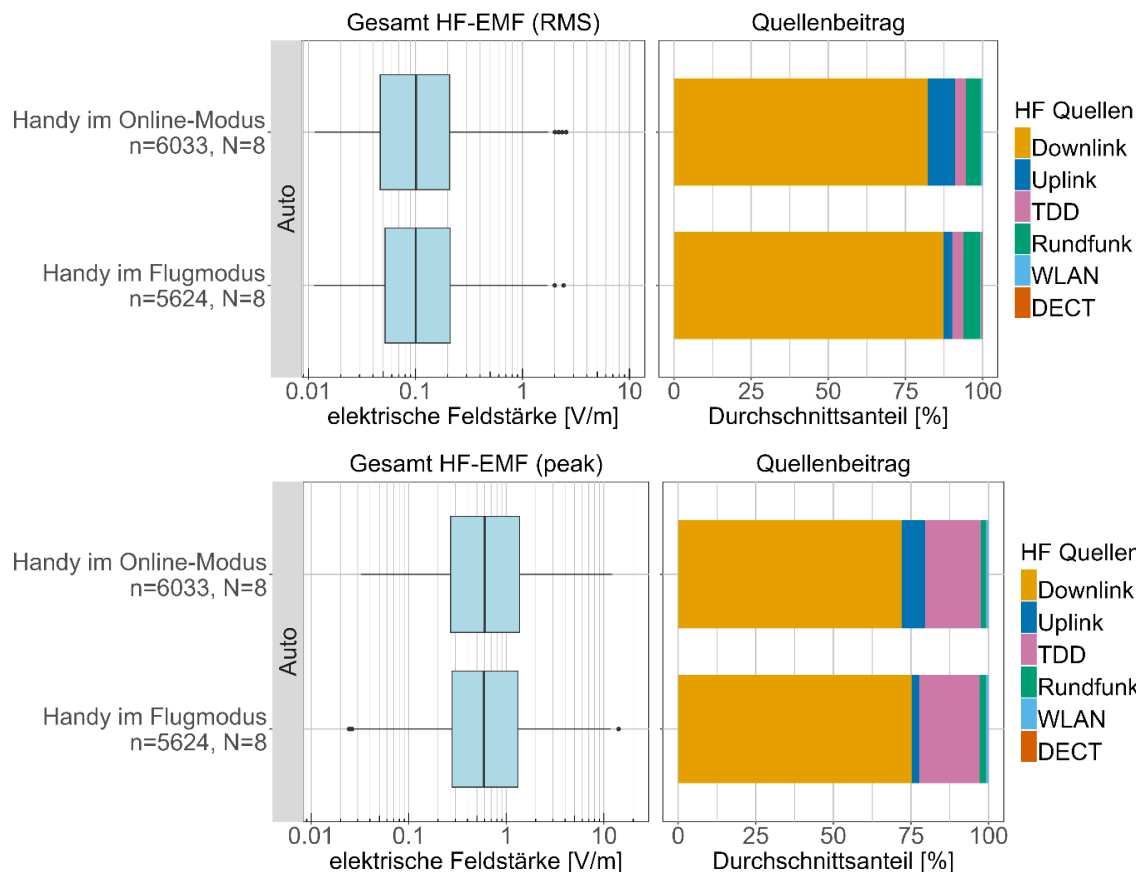


Abbildung 19: Links: Verteilung der RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF Messwerte in Autos im Jahr 2024 mit dem Mobiltelefon des Fahrers im Online-Modus vs. im Flugmodus. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 26, bzw. Tabelle 27 aufgeführt.

3.1.2 Vergleich der HF- und NF-Exposition in den Jahren 2022 und 2024

In den Jahren 2022 und 2024 wurde in den gleichen 150 Mikroumgebungen und 95 öffentlichen Bereichen so gut wie möglich auf denselben Weg zu selben Jahreszeit (+/- eine Woche) und Tageszeit (+/- eine Stunde) Messungen durchgeführt. Damit lässt sich die Veränderung der Exposition innerhalb von zwei Jahren untersuchen. Für den Vergleich der Exposition in öffentlichen Verkehrsmitteln wurde dabei alle bei der An- und Abfahrt zu den Messumgebungen erhobenen Daten über ein Jahr aggregiert. Dabei ist zu beachten, dass es Unterschiede in der Auslastung der Verkehrsmittel und einige Unterschiede bei den Transportwegen zu den Messorten gab. Unterschiede in der Anzahl der Messpunkte „n“ können in allen Umgebungen beobachtet werden, da die Messzeit leicht unterschiedlich sein kann, wobei ein Minimum von 15 Minuten in Mikroumgebungen und fünf Minuten in öffentlichen Bereichen eingehalten wurde. Die Anzahl der gemessenen Umgebungen „N“ ändert sich, wenn unterschiedliche Fahrten mit Verkehrsmitteln zu den Messorten unternommen wurden.

Abbildung 20 und Abbildung 22 zeigen jeweils den Vergleich der Verteilung der gesamten HF-Exposition der RMS-Werte bzw. Peak-Werte für die Jahre 2022 (violett) und 2024 (gelb), wo jeweils in den gleichen Messumgebungen gemessen wurde. In der Mehrheit der Messumgebungen sind die RMS-Mediane ähnlich (± 0.02 V/m). In einigen Messumgebungen waren die Medianwerte im Jahr 2024 höher, insbesondere bei Tramhaltestellen (RMS: 2022: 0.39 V/m, 2024: 0.48 V/m, Peak: 2022: 2.00 V/m, 2024: 2.67 V/m), Hochschulen (RMS: 2022: 0.23 V/m, 2024: 0.32 V/m, Peak: 2022: 1.29 V/m, 2024: 1.79 V/m), und im öffentlichen Verkehr zum Beispiel in Zügen (RMS: 2022: 0.24 V/m, 2024: 0.30 V/m, Peak: 2022: 1.53 V/m, 2024: 2.08 V/m), in Seilbahnen (RMS: 2022: 0.12 V/m, 2024: 0.17 V/m, Peak: 2022: 0.64 V/m, 2024: 1.19 V/m) und Trams (RMS: 2022: 0.24 V/m, 2024: 0.28 V/m, Peak: 2022: 1.50 V/m, 2024: 2.00 V/m). In der Metro sind die Medianwerte im Jahr 2024 etwas tiefer (RMS: 2022: 0.29 V/m, 2024: 0.20 V/m, Peak: 2022: 1.58 V/m, 2024: 1.16 V/m), aber die Anzahl der Messungen im Jahr 2024 ist sehr begrenzt (N=1).

Der Median-HF-EMF-RMS-Wert für alle *Mikroumgebungen* zusammen lag sowohl im Jahr 2022 wie auch im Jahr 2024 bei 0.15 V/m. Der mediane Peak-Wert lag 2022 bei 0.69 V/m und 2024 bei 0.78 V/m. Für alle *öffentlichen Bereiche* war der Median-RMS Wert 2022 0.20 V/m (Peak: 1.15 V/m) und 2024 0.22 V/m (Peak: 1.24 V/m). Für alle *Verkehrsmittel* lag der Median-RMS Wert 2022 bei 0.22 V/m (Peak: 1.42 V/m) und 2024 bei 0.23 V/m (Peak: 1.52 V/m) (siehe Tabelle 34).

Abbildung 21 und Abbildung 23 zeigen die mittleren relativen Beiträge der sechs HF-Quellen in den Jahren 2022 und 2024. In den meisten Fällen sind ähnliche Beitragsmuster im Jahr 2022 und 2024 zu beobachten. Die bemerkenswerteste Veränderung ist ein Anstieg des TDD-Anteils bei den Peak-Werten, welche in öffentlichen Verkehrsmitteln (z.B. Zügen: 2022: 19%, 2024: 49%), Trams: 2022: 27%, 2024: 44%) und Busse: 2022: 22%, 2024: 42%) und Haltestellen (Tramhaltestellen: 2022: 14%, 2024: 35%) und Bahnhöfen: 2022: 24%, 2024: 38%) am ausgeprägtesten war. Auch in den anderen Umgebungen stieg der TDD Anteil bei den Peak-Werten meistens an. Beispielsweise stieg der Anteil von TDD an den Peak-Werten in ländlichen Wohngebieten und suburbanen Wohngebieten von 4% bzw. 10% im Jahr 2022 auf 28% bzw. 21% im Jahr 2024.

Für RMS-Werte wurde ebenfalls eine Zunahme des TDD-Anteils zwischen 2022 und 2024 beobachtet. Dieser war aber im Allgemeinen wenig ausgeprägt ausser in Metro (2022: 0.0%, 2024: 24%), Zügen (2022: 6%, 2024: 21%), und Tramhaltestellen (2022: 3%, 2024: 15%) und Trams (2022: 6%, 2024: 18%).

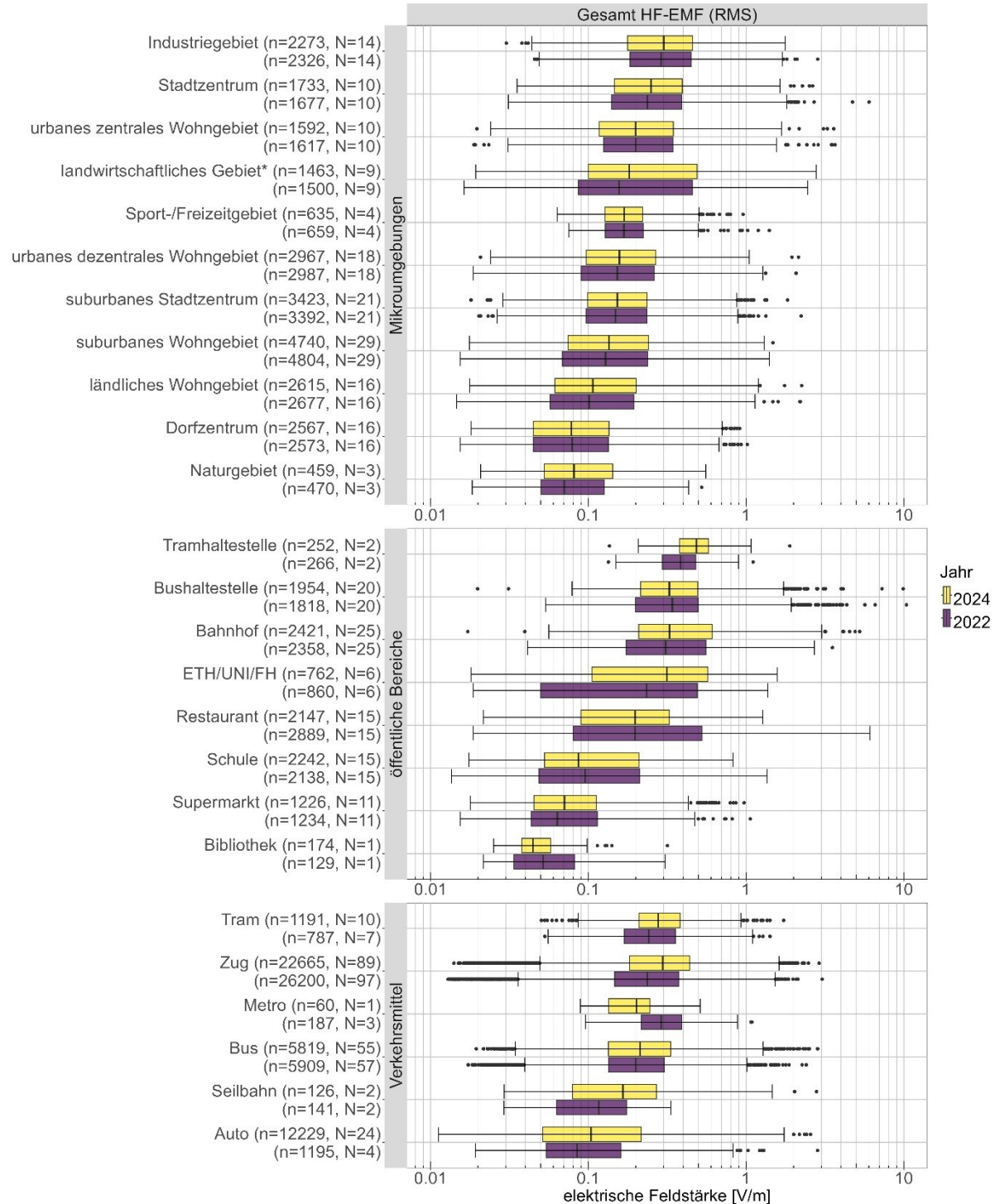


Abbildung 20: Vergleich der Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte in den gleichen Messumgebungen im Jahr 2022 (violett) und 2024 (gelb). Die Mittellinie, die Kasten, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot IQR$) bzw. die Extremwerte. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten sind in Tabelle 28 aufgeführt.

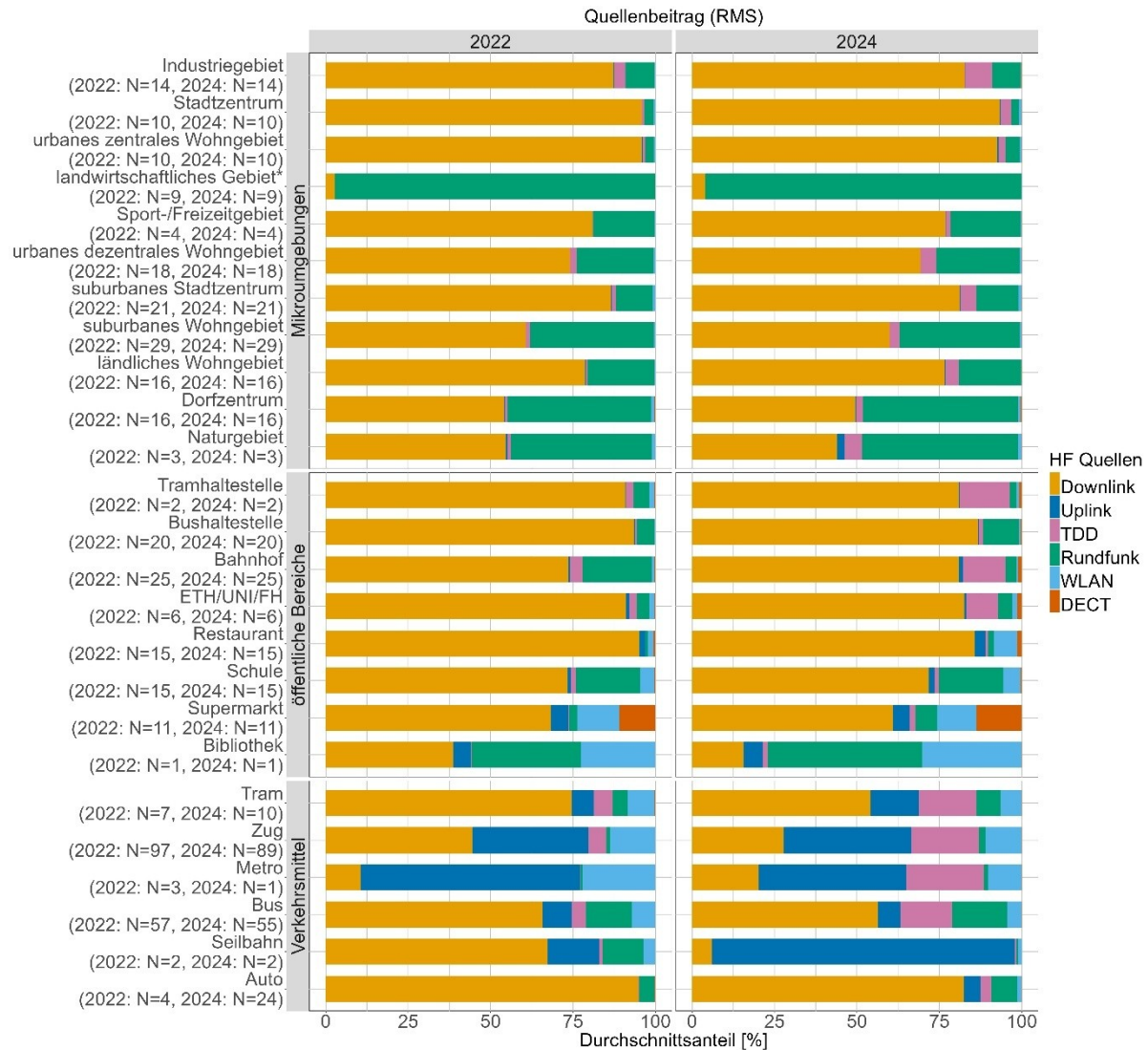


Abbildung 21: Der durchschnittliche Beitrag der RMS HF-Quellen für jeden Messumgebungstyp in den Jahren 2022 und 2024, wo jeweils in den gleichen Messumgebungen gemessen wurde. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Beiträge der Quellen sind in Tabelle 29 aufgeführt.

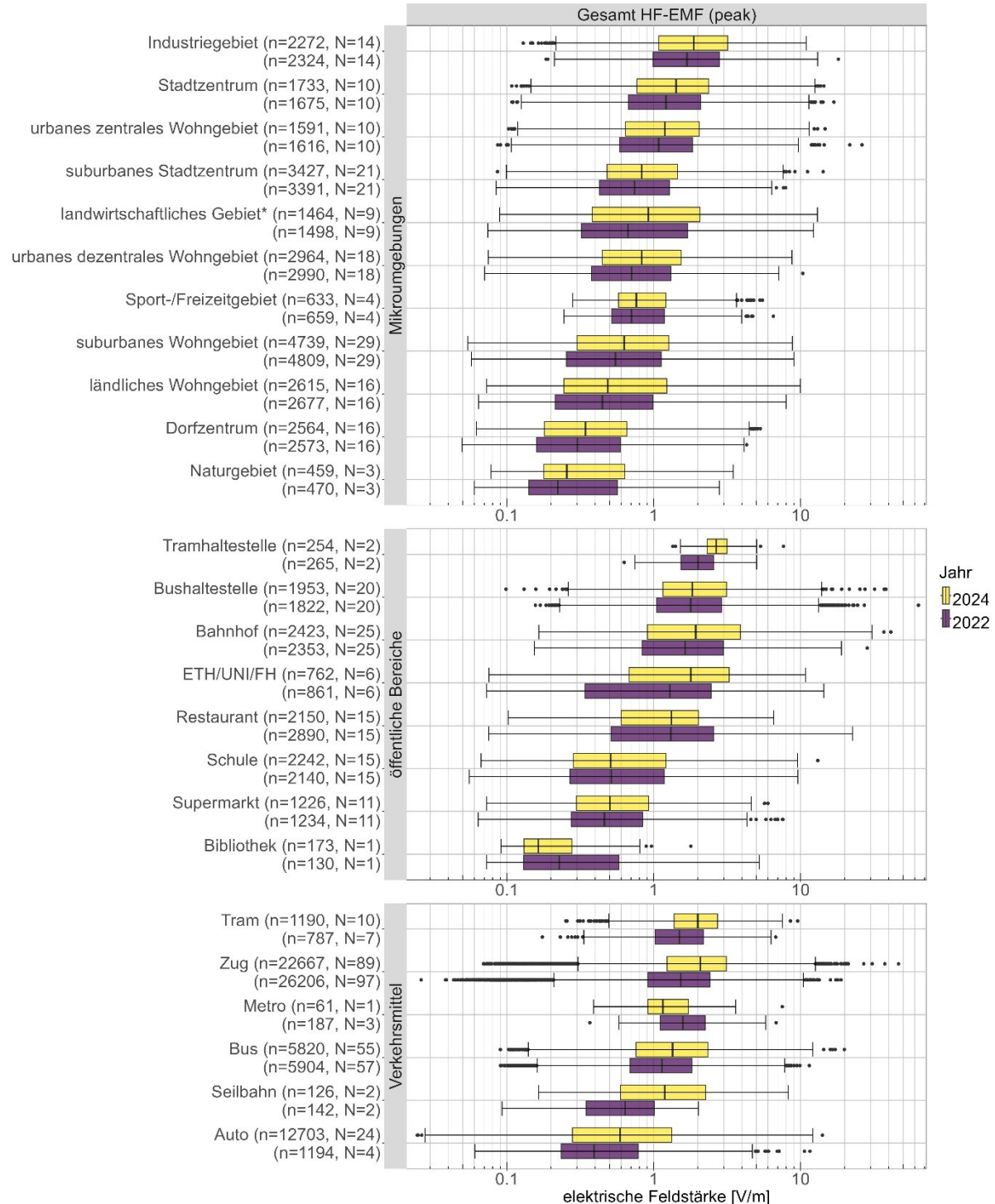


Abbildung 22: Vergleich der Verteilung der Peak HF-EMF Messwerte in den gleichen Messumgebungen im Jahr 2022 (violett) und 2024 (gelb). Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot IQR$) bzw. die Extremwerte. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten sind in Tabelle 30 aufgeführt.

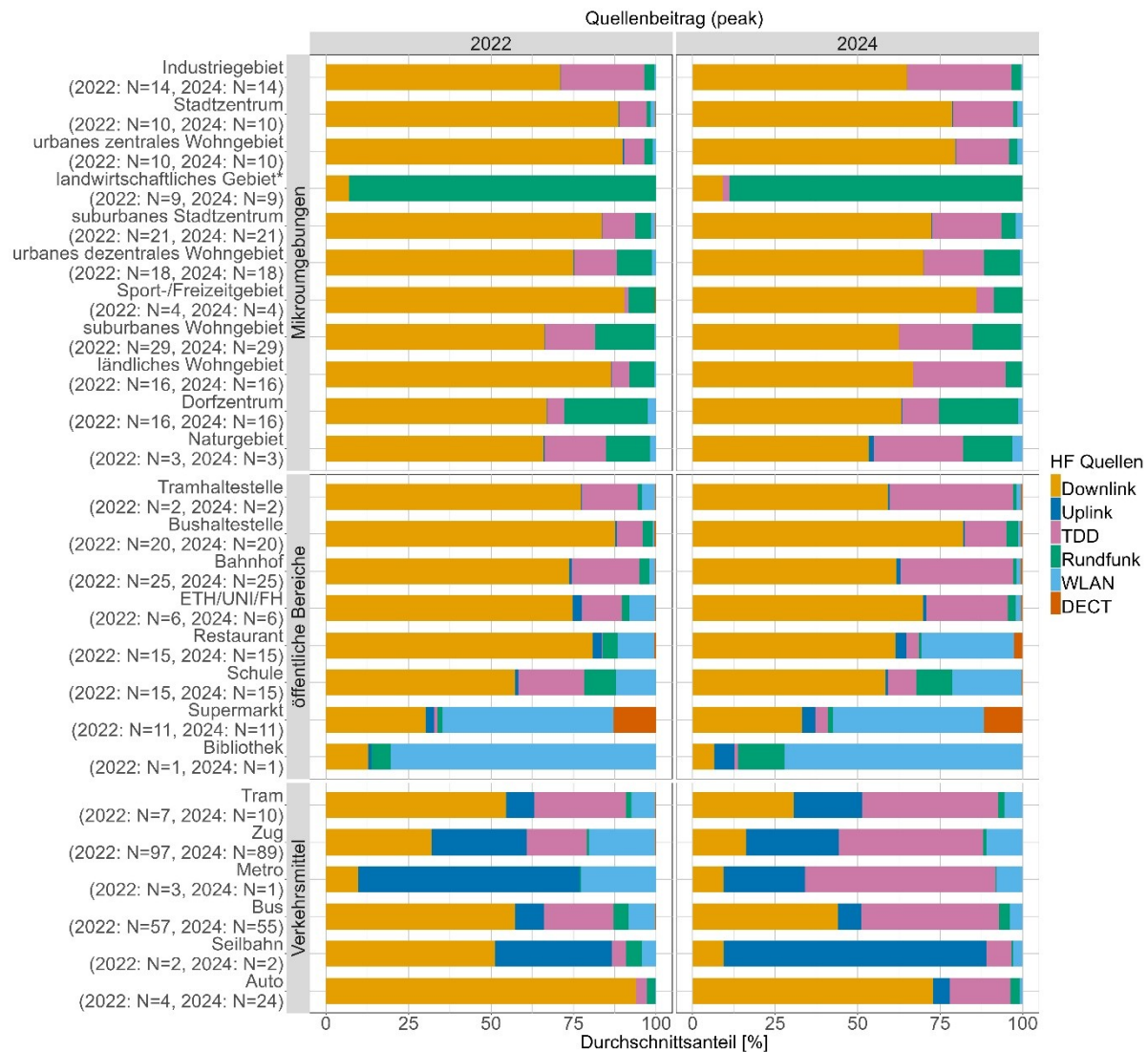


Abbildung 23: Der durchschnittliche Beitrag der RMS HF-Quellen für jeden Messumgebungstyp in den Jahren 2022 und 2024, wo jeweils in den gleichen Messumgebungen gemessen wurde. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Beiträge der Quellen sind in Tabelle 31 aufgeführt.

Abbildung 24 zeigt den Vergleich der Verteilung der gesamten NF-Exposition der RMS-Werte im Jahr 2022 (violett) und im Jahr 2024 (gelb), für Orte an denen in beiden Jahren gemessen wurde. In allen Messumgebungen blieben die RMS-Mediane innerhalb eines Bereichs von $\pm 0.04 \mu\text{T}$. Im Jahr 2024 war der Medianwert in Hochschulen (2022: $0.14 \mu\text{T}$, 2024: $0.18 \mu\text{T}$) und Trams (2022: $0.18 \mu\text{T}$, 2024: $0.22 \mu\text{T}$) etwas höher, und in Autos (2022: $0.13 \mu\text{T}$, 2024: $0.09 \mu\text{T}$) etwas niedriger. Bei den Autos ist aber zu beachten, dass die Anzahl Messungen im Jahr 2022 (N=4) und 2024 (N=15) unterschiedlich war, was möglicherweise einen Einfluss auf die Differenz hatte.

In Abbildung 25 sind die mittleren relativen Beiträge der drei NF-Quellen in den Jahren 2022 und 2024 blau (Eisenbahnstrom), pink (Stromversorgung) und gelb (Tram-Rippelstrom) eingefärbt. Die gleichen

Beitragsmuster sind in den meisten Fällen zwischen 2022 und 2024 zu beobachten. Obwohl in jeder Umgebung Unterschiede in den prozentualen Beiträgen zu beobachten sind, bleibt der Hauptbeitrag ausser in den suburbanen Stadtzentren, Tramhaltestellen, Trams, und Bibliothek gleich. In suburbanen Stadtzentren, Tramhaltestellen und Trams stammt der Hauptbeitrag im Jahr 2022 von der Stromversorgung (suburbanes Stadtzentrum: 74%, Tramhaltestelle: 53%, Tram: 37%), während der im Jahr 2024 von der Eisenbahnstrom (suburbanes Stadtzentrum: 54%, Tram: 64%) oder Tram-Rippelstrom (Tramhaltestelle: 61%) stammt. In der Bibliothek stammt der Hauptbeitrag im Jahr 2022 von der Tram-Rippelstrom (95%), aber es wurde festgestellt, dass nur eine Messung den Hauptbeitrag leistete, nämlich ein Sicherheitsportal, das im Bereich des Tram-Rippelstrom emittiert. Dies war 2024 nicht der Fall als die Stromversorgung in der Bibliothek den Hauptbeitrag leistete (94%).

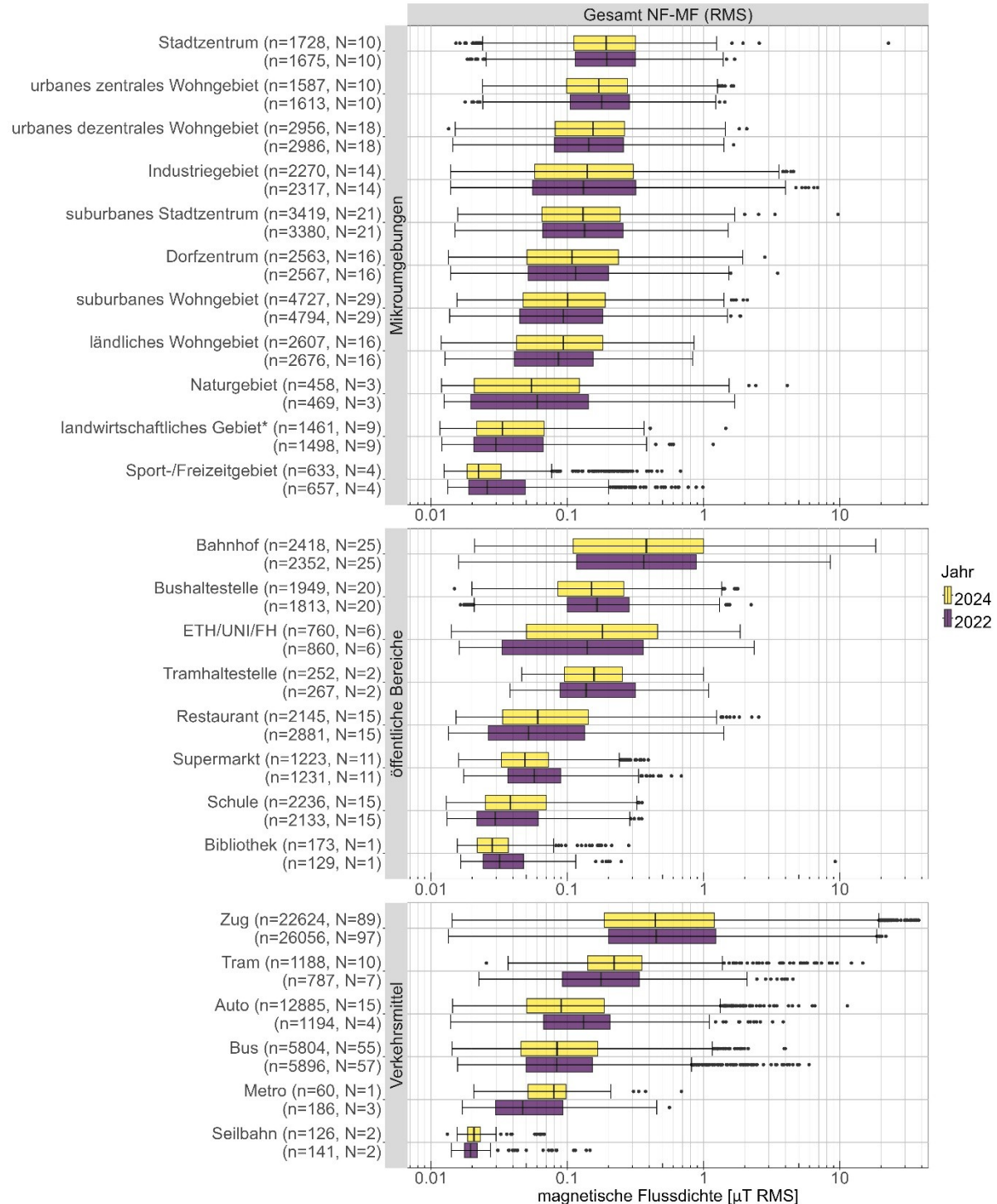


Abbildung 24: Vergleich der Verteilung der RMS NF-MF Messwerte in den gleichen Messumgebungen im Jahr 2022 (violett) und 2024 (gelb). Die Mittellinie, die Kasten, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten sind in Tabelle 32 aufgeführt.

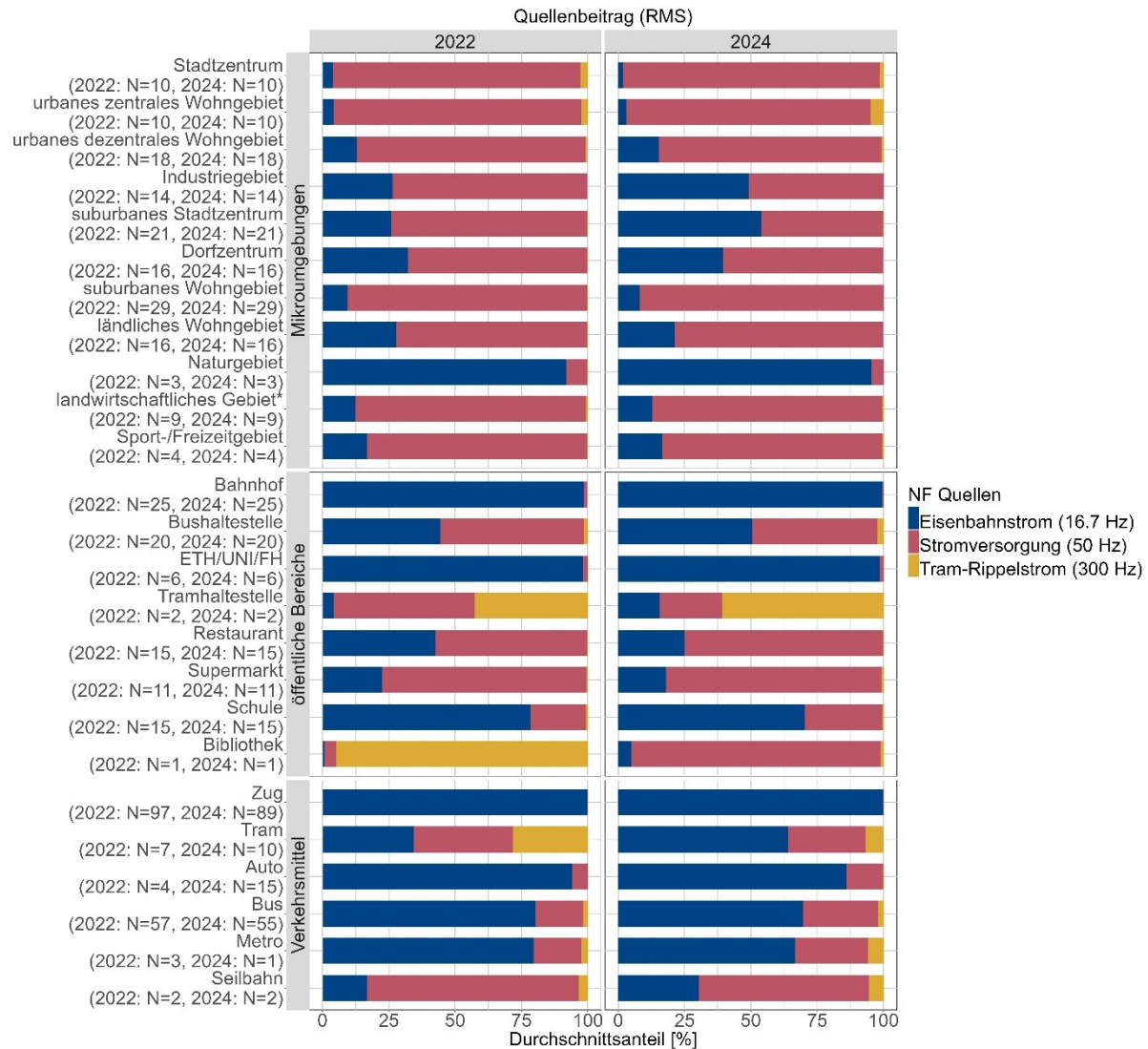


Abbildung 25: Der durchschnittliche Beitrag der NF-MF-Quellen für jeden Messumgebungstyp in den Jahren 2022 und 2024, wo jeweils an den gleichen Orten gemessen wurde. Die folgenden Frequenzbandgruppen sind berücksichtigt: Eisenbahnstrom (16.7 Hz), Stromversorgung (50 Hz), und Tram-Rippelstrom (300 Hz) mit ihren jeweiligen Harmonischen. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Beiträge der Quellen sind in Tabelle 33 aufgeführt.

3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen

3.2.1 HF-Exposition

In Abbildung 26 ist die Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte für alle 90 Liegenschaften, welche zwischen 2021 und April 2025 gemessen wurden (siehe Kapitel 2.2.1) dargestellt. Abbildung 27 zeigt die Verteilung der HF-EMF Spitzen (Peak-Werte). Im rechten Teil der Grafik ist jeweils die prozentuale Zusammensetzung der Quellenbeiträge an der mittleren Gesamtfeldstärke dargestellt. Die Teilmessungen, das heisst Langzeitmessung, mobile Messung und Kurzzeitmessung, werden dabei einzeln ausgewertet. Wie in Kapitel 2.4.3 erläutert, wurden Liegenschaften in der Nähe einer

Primärquelle gezielt ausgewählt um den Einfluss einer nahen Quelle auf die Exposition zu untersuchen. Standorte ohne Primärquelle entsprechen einer repräsentativen Verteilung der NIS-Expositionssituationen in der Schweiz. Von den 90 vermessenen Liegenschaften befinden sich 47 in der Nähe von einer Mobilfunkbasisstation, neun in der Nähe eines Rundfunksenders und 34 sind ohne Primärquelle.

Bei den *Kurzzeitmessungen* weisen Messstandorte in der Nähe von Mobilfunkanlagen einen Medianwert der elektrischen Gesamtfeldstärke von 0.17 V/m (RMS) bzw. 1.14 V/m (Peak) auf. Die prozentuale Zusammensetzung der elektrischen RMS-Gesamtfeldstärke gliedert sich im Mittel in folgende Quellen: Downlink: 74 %, Rundfunk: 14 %, WLAN: 9 %. Die entsprechende Peak-Gesamtfeldstärke setzt sich wie folgt zusammen: Downlink: 58 %, WLAN: 27 %, TDD: 7 % und Rundfunk: 4 %. Liegenschaften in der Nähe eines Radio/TV Senders weisen den grössten Medianwert der elektrischen Gesamtfeldstärke auf (RMS: 0.38 V/m, Peak: 1.82 V/m). Dabei betragen die RMS-Quellenbeiträge für Rundfunk 80 % und für WLAN 17 %. Bei den Peak-Werten tragen WLAN 66 % und Rundfunk 30 % bei. Für Liegenschaften, welche nicht wegen der Nähe zu einer vorgenannten HF-Quellen ausgewählt wurden («keine HF-Primärquelle»), beträgt der Medianwert 0.14 V/m (RMS) bzw. 0.99 V/m (Peak). Diese Werte repräsentieren damit eine typische Exposition in Schweizer Wohnungen. RMS-Feldbeiträge resultieren für die Kategorie «keine HF-Primärquelle» im Mittel aus folgenden Gruppen: Downlink: 42 %, WLAN: 31 %, Rundfunk: 20 % und DECT: 5 %. Die grössten Peak-Feldbeiträge ergeben sich für: WLAN: 76 %, Downlink: 13 %, DECT: 7 %.

Bei den *mobilen Messungen* weisen Standorte in der Nähe von Mobilfunkantennen einen Medianwert von 0.15 V/m (RMS) bzw. 0.99 V/m (Peak) auf. Die zwei grössten RMS-Quellen in dieser Kategorie sind der Downlink mit 71 % und der Rundfunk mit 17 %. Die Peak-Beiträge setzen sich aus 58 % Downlink, 33 % WLAN und 6 % Rundfunk zusammen. Für Messungen in der Nähe von Rundfunkanlagen beträgt der Median 0.35 V/m (RMS) bzw. 1.47 V/m (Peak), was zugleich den grössten RMS-Wert bei den mobilen Messungen darstellt. Die RMS-Feldbeiträge aus der Kategorie Rundfunk überwiegen mit 94 % stark. Die Peak-Gesamtfeldstärke beinhaltet Beiträge der Dienste Rundfunk 65 %, WLAN 27 % und Downlink 4 %. Wohnungen der Kategorie «keine HF-Primärquelle» weisen einen Expositionsmedian von 0.09 V/m (RMS) bzw. 0.67 V/m (Peak) auf. Die grössten RMS-Quellenbeiträge der Kategorie «keine HF-Primärquelle» sind: Downlink: 40 %, Rundfunk: 24 % und WLAN: 29 %. Die Peak-Beiträge stammen hauptsächlich von WLAN (63 %) und zu einem kleineren Teil von Downlink (21 %) und DECT (8 %).

Bei den *Langzeitmessungen* weisen Messstandorte in der Nähe von Mobilfunkanlagen einen Medianwert von 0.15 V/m (RMS) bzw. 0.88 V/m (Peak) auf. Die RMS-Hauptquelle ist mit 81 % der Downlink, gefolgt von Rundfunk mit 16 %. Die Peak-Gesamtfeldstärke beinhaltet 89 % Downlink und 5 % Rundfunk. Die Langzeitmessungen an Standorten mit Rundfunksendern weisen den grössten Median innerhalb der Gruppe mit einer elektrischen Gesamtfeldstärke von 0.36 V/m (RMS) bzw. 1.44 V/m (Peak) auf. Der Rundfunk liefert an diesen Standorten mit 96 % den grössten RMS-Feldstärkebeitrag, gefolgt von Downlink mit 3 %. Auch bei der Peak-Gesamtfeldstärke dominieren Beiträge aus dem Rundfunk mit 91 %, gefolgt von Downlink mit 7 % und WLAN mit 2 %.

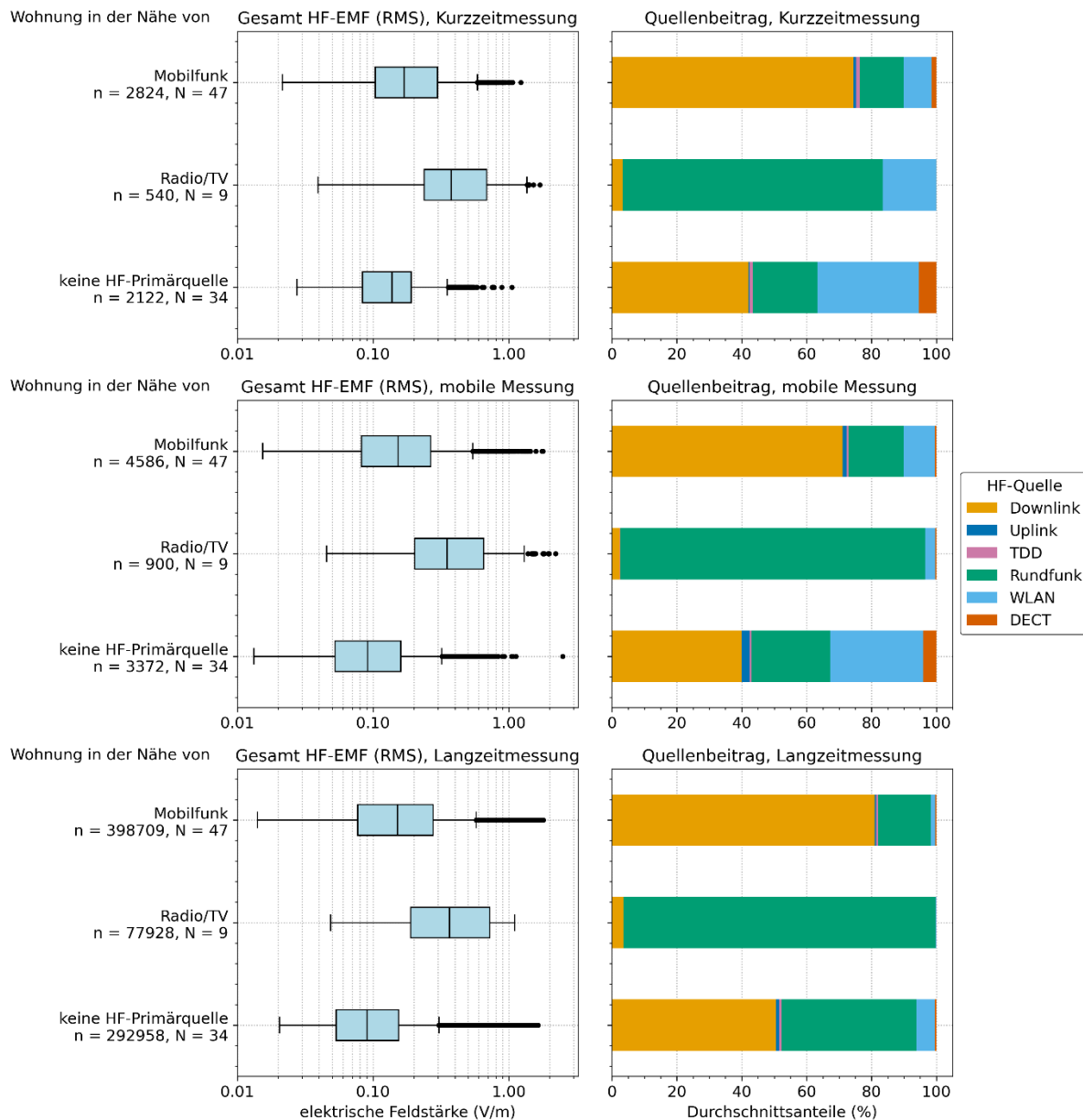


Abbildung 26: Verteilung der mit Gleichung (1) berechneten Gesamt-HF-EMF (RMS) Werte der Wohnungsmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären HF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Liegenschaften ohne HF-Primärquelle sind zufällig ausgewählt und repräsentieren die typische EMF Exposition in der Schweiz. Die Mittellinie zeigt den Median und der blaue Balken das 25. und 75. Perzentil. Ausreisser liegen ausserhalb des 1.5*IQR (Interquartilsabstand) Bereichs und werden als einzelne Punkte dargestellt. n bezeichnet die Anzahl an Datenpunkten und N kennzeichnet die Anzahl an Messstandorten. Für alle Messorte mit einem bestimmten Primärquellentyp wird die prozentuale Zusammensetzung der Frequenzbandgruppen an der mittleren RMS-Gesamtfeldstärke angegeben, siehe Gleichung (7). Es wird nach Downlink, Uplink, Time-Division-Duplex (TDD), Rundfunk, WLAN und DECT unterschieden. Die statistischen Kenndaten stehen in Tabelle 35 und Tabelle 36.

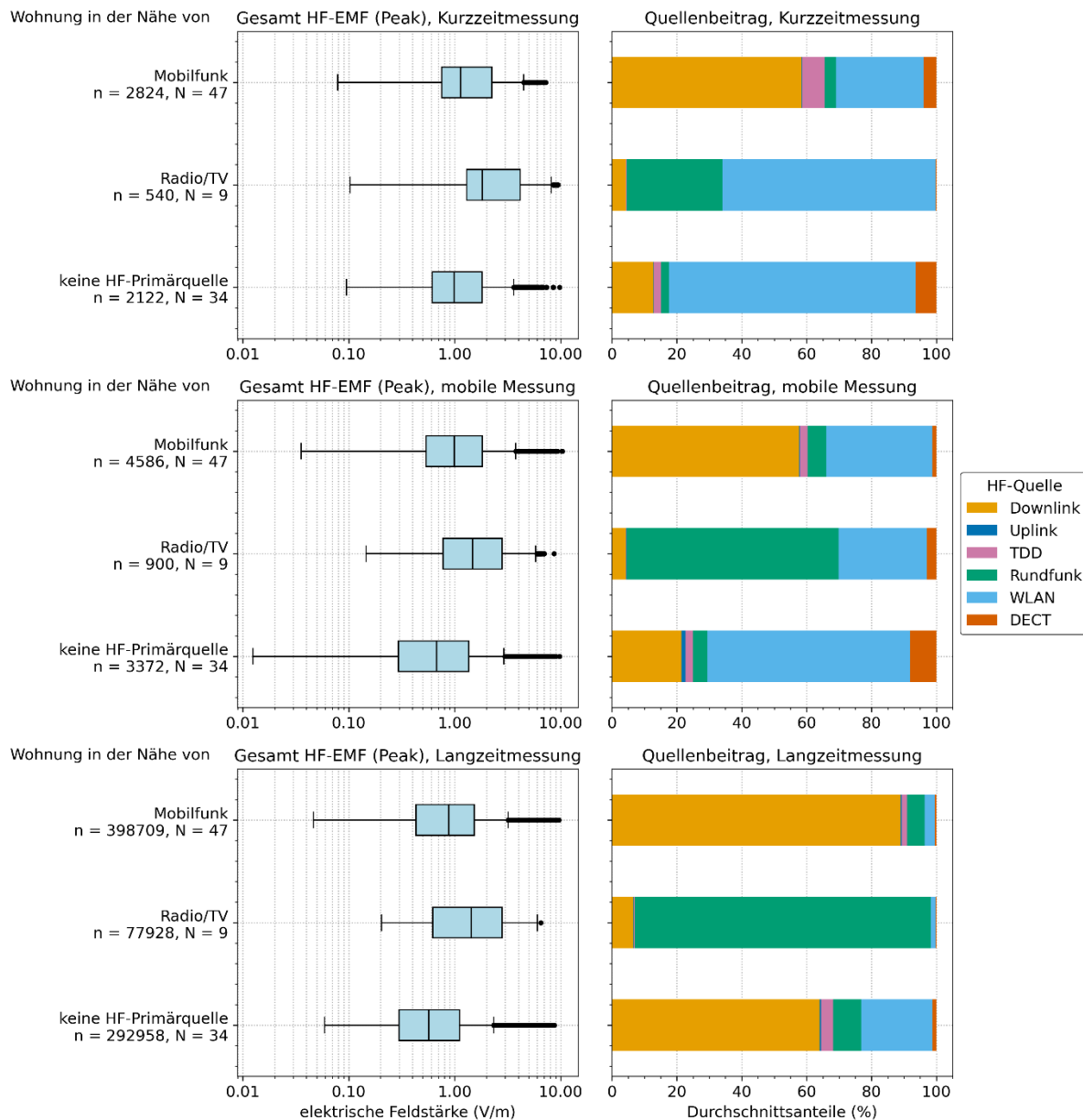


Abbildung 27: Verteilung der mit Gleichung (1) berechneten Gesamt-HF-EMF (Peak) Werte der Wohnungsmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären HF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Liegenschaften ohne HF-Primärquelle sind zufällig ausgewählt und repräsentieren die typische EMF Exposition in der Schweiz. Die Mittellinie zeigt den Median und der blaue Balken das 25. und 75. Perzentil. Ausreisser liegen ausserhalb des 1.5*IQR (Interquartilsabstand) Bereichs und werden als einzelne Punkte dargestellt. n bezeichnet die Anzahl an Datenpunkten und N kennzeichnet die Anzahl an Messstandorten. Für alle Messorte mit einem bestimmten Primärquellentyp wird die prozentuale Zusammensetzung der Frequenzbandgruppen an der mittleren Peak-Gesamtfeldstärke angegeben, siehe Gleichung (7). Es wird nach Downlink, Uplink, Time-Division-Duplex (TDD), Rundfunk, WLAN und DECT unterschieden. Die statistischen Kenndaten stehen in Tabelle 37 und Tabelle 38.

Die Kategorie «keine HF-Primärquelle» weist bei den Langzeitmessungen einen Feldstärkemedian von 0.09 V/m (RMS) bzw. 0.57 V/m (Peak) auf. Der Downlink und der Rundfunk liefern die RMS-Hauptbeiträge mit 51 % und 42 %, respektive. Die Peak-Hauptbeiträge stammen mit 64 % und 22 % vom Downlink und WLAN.

Die statistischen Kenndaten für die in Abbildung 26 dargestellten Messdaten befinden sich im Anhang, gruppiert nach den Teilmessungen (Tabelle 35 und Tabelle 36). Die Kenndaten für Abbildung 27 befinden sich in Tabelle 37 und Tabelle 38.

Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen die Spannweite des quadratischen Mittels (RMS, siehe Gleichung (4)) der elektrischen Gesamtfeldstärke (siehe Gleichung (1)) für alle RMS und Peak-Messungen in einer Primärquellenkategorie. Zusätzlich wird auch das arithmetische Mittel aller quadratischen Mittelwerte für jede Primärquellenkategorie dargestellt (siehe Gleichung 9). Gegenüber den Medianwerten aus Abbildung 26, sind die Mittelwerte der RMS-Daten meist etwas höher. Dies gilt auch für die Mittelwerte bei den Peak-Daten in Abbildung 29, verglichen mit den Medianwerten aus Abbildung 27. Das Muster der Mittelwerte zwischen den drei Primärquellenkategorien ist ähnlich wie jenes bei den Medianwerten in Abbildung 26 und Abbildung 27.

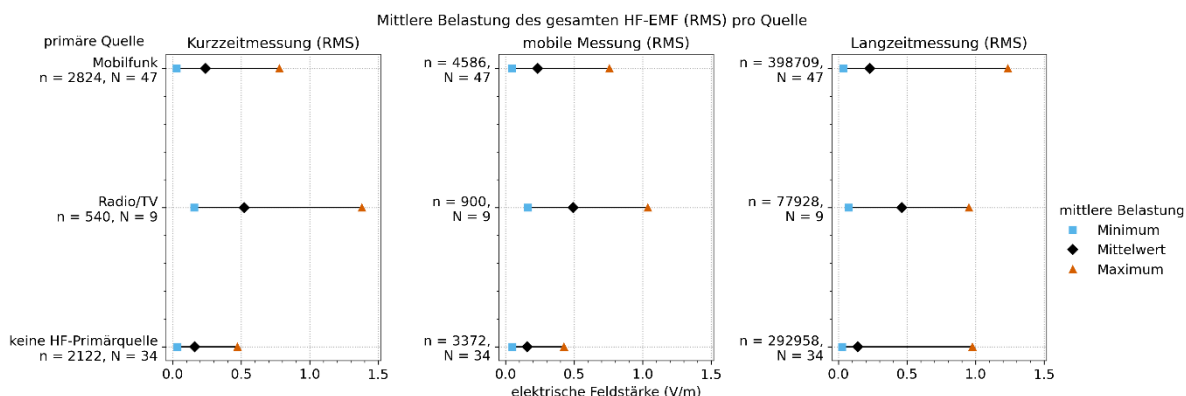


Abbildung 28: Spannweite des nach Gleichung (4) berechneten quadratischen Mittelwerts (RMS) der elektrischen Gesamtfeldstärke für jede Messung innerhalb einer Primärquellenkategorie. Für die Berechnung wurden RMS-Datenpunkte verwendet. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender quadratischen Mittelwerte, siehe Gleichung (9). Die linke und rechte Begrenzung zeigen die tiefste und die höchste Stärke des RMS-Gesamtfeldes aller Messungen in der Kategorie. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt. Die Daten der Abbildung befinden sich in Tabelle 39 des Anhangs.

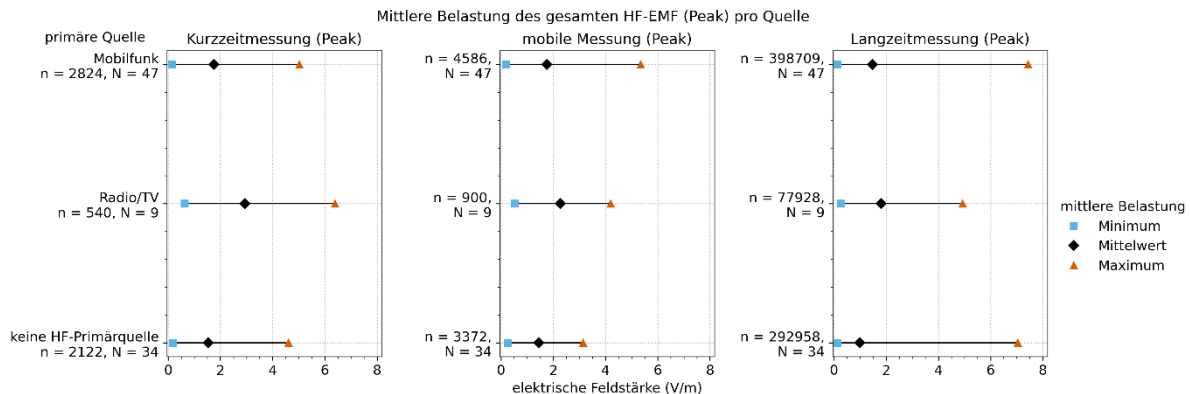


Abbildung 29: Spannweite des nach Gleichung (4) berechneten quadratischen Mittelwerts (Peak) der elektrischen Gesamtfeldstärke für jede Messung innerhalb einer Primärquellenkategorie. Für die Berechnung wurden Peak-Werte verwendet. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender quadratischen Mittelwerte, siehe Gleichung (9). Die linke und rechte Begrenzung zeigen die tiefste und die höchste Stärke des RMS-Gesamtfeldes aller Messungen in der Kategorie. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt. Die Daten der Abbildung 29 befinden sich in Tabelle 40 im Anhang.

3.2.2 NF- Exposition

Die Verteilung der magnetischen Gesamtflussdichte aller RMS NF-MF Messpunkte ist in Abbildung 30 dargestellt. Die Daten der Kurzzeitmessung, der mobilen Messung und der Langzeitmessung werden dabei einzeln ausgewertet. Die statistischen Kennzahlen für die Verteilungen befinden sich in Tabelle 41. Die prozentuale Zusammensetzung der Quellenbeiträge an der magnetischen Gesamtflussdichte wird in der rechten Spalte von Abbildung 30 gezeigt und die Kennzahlen sind in Tabelle 42 gegeben. Entsprechend der in Tabelle 3 gelisteten Anwendungsbereiche werden die Quellenbeiträge den Kategorien Eisenbahn, Energieversorgung und Tram zugewiesen. Die Kurzzeitmessung und die mobile Messung erfolgen zeitgleich, jedoch in unterschiedlichen Räumen. Die Langzeitmessung findet auch während der Nacht statt.

Von den 90 vermessenen Liegenschaften befinden sich sieben in der Nähe von einer zweispurigen Eisenbahnlinie, sechs in der Nähe von einer einspurigen Eisenbahnlinie, drei oberhalb eines Eisenbahntunnels, jeweils eine in der Nähe einer Tramlinie oder einer Trafostation und insgesamt 16 in der Nähe von einer 220/380 kV, 36-150 kV oder 1-36 kV Freileitung. Die restlichen 56 Wohnungen wurden nicht wegen der Nähe zu einer NF-Quelle ausgewählt (Abbildung 30). Es sei darauf hingewiesen, dass die Daten für Primärquellenkategorien mit wenigen Wohnungen noch keinen repräsentativen Charakter haben. Die abgebildeten Verteilungen sind daher noch stark durch die jeweiligen Messorte beeinflusst und es lassen sich noch keine zuverlässigen Aussagen für die zu erwartenden Expositionsbreiten treffen.

Bei der *Kurzzeitmessung* liegt der Medianwert in Räumen des häufigen Aufenthalts von Wohnungen in der Nähe von zweispurigen Eisenbahnlinien bei 0.10 μT . In Wohnungen nahe von einspurigen Eisenbahnlinien ist der Median um fast die Hälfte geringer (0.06 μT). Bei einer Liegenschaft in der Nähe eines zweispurigen Eisenbahntunnels wurde ein Expositionsmedian von 0.05 μT ermittelt. Bei zwei Liegenschaften oberhalb eines Tunnels mit einspuriger Eisenbahnlinie wurde der höchste Expositionsmedian bei Bahnlinien dieser Teilmessungskategorie beobachtet (0.13 μT). Der trotz einspuriger Linie hohe Wert ist vermutlich der unmittelbaren Nähe der Fahrleitung zur Liegenschaft geschuldet. Die Medianwerte der *mobilen Messung* sind für diese vier Primärquellenkategorien

praktisch identisch wie die jeweiligen Kurzzeitemessungen. Bei der *Langzeitmessung* liegen die Werte leicht tiefer oder gleich mit $0.08 \mu\text{T}$ für Messungen in der Nähe von zweispurigen Eisenbahnlinien, $0.06 \mu\text{T}$ in der Umgebung von einspurigen Eisenbahnlinien und $0.11 \mu\text{T}$ bei der Einzelmessung mit einspurigem Tunnel. Die Liegenschaft oberhalb eines zweispurigen Eisenbahntunnels weist hingegen einen erhöhten Median von $1.32 \mu\text{T}$ auf. Wie die Verteilung der Feldzusammensetzung zeigt, ist der hohe Wert jedoch nicht der Nähe zur Eisenbahnlinie zuzuschreiben (0.6 %), sondern resultiert aus hausinternen Quellen im Schlafzimmer, welche am 50 Hz Stromnetz betrieben werden (99.4 %). Bei allen vier Primärquellen der Kurzzeit- und mobilen Messungen liefert der Eisenbahnstrom den grössten prozentualen Anteil an der magnetischen Gesamtflussdichte. Bei der Primärquelle «Eisenbahnlinie zweispurig» sind dies über 95 %. Das Verteilungsmuster ist über alle Teilmessungen hinweg ähnlich, ausser bei der Messung beim zweispurigen Eisenbahntunnel bei den Langzeitmessungen.

Die Immissionen bei einer Wohnung in der Nähe einer Tramlinie weisen einen Median von $0.04 \mu\text{T}$ für die *Kurzzeitmessung* auf. Für die *mobile Messung* beläuft sich der Median auf $0.06 \mu\text{T}$ und für die *Langzeitmessung* auf $0.09 \mu\text{T}$. Aus dem Balkendiagramm für die Quellenbeiträge wird ersichtlich, dass das Tram dabei aber nur einen kleinen Beitrag leistet und der gemessene Tramrippelstrom beträgt über alle drei Teilmessungen hinweg lediglich zwischen 3-4 %. Bei allen übrigen Liegenschaften sind die Beiträge in den Frequenzbändern des Tram-Rippelstroms vernachlässigbar.

Bei Liegenschaften in der Nähe von 220/380 kV Freileitungen wurden vergleichsweise hohe Medianwerte zwischen 0.22 und $0.35 \mu\text{T}$ gemessen. Die gemessenen Maximalwerte liegen in dieser Kategorie zwischen 1.68 und $2.07 \mu\text{T}$. Die Verteilung wird massgeblich von zwei Liegenschaften beeinflusst, bei welchen Messwerte über dem vorsorglichen Anlagegrenzwert von $1 \mu\text{T}$ der NISV festgestellt wurden. Die drei Messungen in der Nähe von 36-150 kV Freileitungen resultieren in kleineren Medianwerten von 0.17 bis $0.18 \mu\text{T}$ als bei den Höchstspannungsleitungen. Die Maximalwerte liegen für diese Quellengruppe bei ca. $0.7 \mu\text{T}$. Die Medianwerte bei fünf Messungen in der Nähe von 1-36 kV Freileitungen sind nochmals rund einen Faktor zwei kleiner als die Werte bei 36-150 kV Freileitungen und liegen zwischen 0.08 und $0.10 \mu\text{T}$. Die Medianwerte bei einer Wohnung in der Nähe einer Trafostation liegen mit 0.07 bis $0.09 \mu\text{T}$ in einem ähnlichen Bereich wie in der Nähe von 1-36 kV Freileitungen. Bei der Zusammensetzung der magnetischen Gesamtflussdichte zeichnet sich über alle Teilmessungen hinweg ein ähnliches Bild ab. Die Feldbeiträge bei den 220/380 kV Höchstspannungsleitungen und bei den 1-36 kV Freileitungen betragen bei allen Teilmessungen beinahe 100 %. Die prozentualen Anteile der Stromversorgung dominieren mit 95-98 % bei der Kategorie «36-150 kV Freileitung» und mit 76-88 % bei der Trafostation.

Für Liegenschaften, welche sich nicht in der Nähe einer NF-Quelle befinden, beträgt der Medianwert der magnetischen Gesamtflussdichte $0.04 \mu\text{T}$ für alle Teilmessungen und ist damit tiefer als an den meisten Standorten mit einer NF-Primärquelle. Maximalwerte können aber ähnlich hoch sein wie bei den Standorten mit einer NF-Primärquelle (0.50 - $1.26 \mu\text{T}$). Der Anteil an der Gesamtflussdichte liegt beim Eisenbahnstrom je nach Teilmessung zwischen 31 % und 39 % und die Anteile der Stromversorgung liegen zwischen 61 % und 68 %. Die Beiträge von Tramlinien sind bei den 56 Messungen ohne Primärquelle klein und liegen unter 1 %.

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
Jahresbericht 2024 - Projektkonsortium SwissNIS
18.07.2025

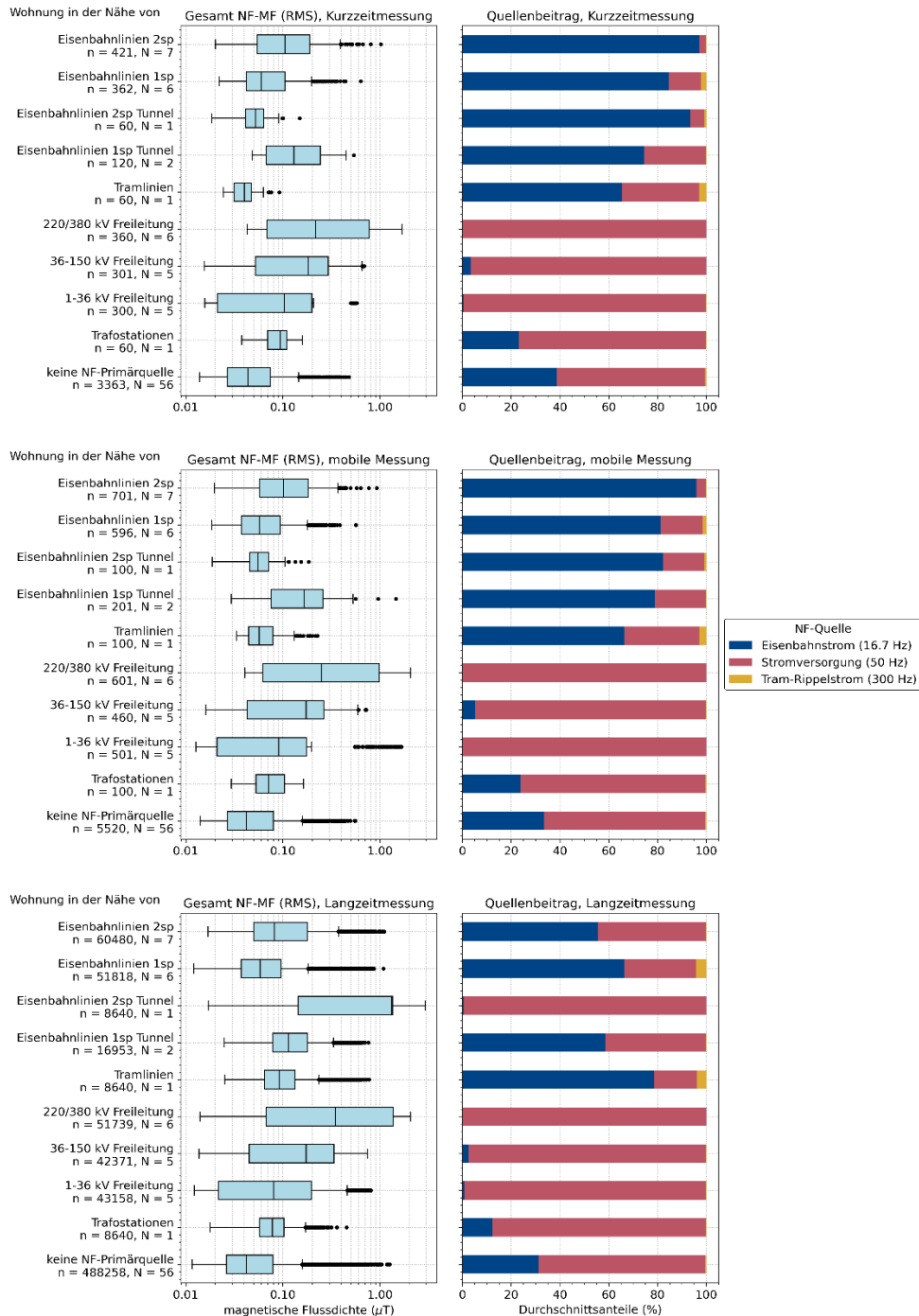


Abbildung 30: Verteilung der mit Gleichung (2) berechneten RMS NF-MF Werte der Wohnungsmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären NF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Liegenschaften ohne NF-Primärquelle sind zufällig ausgewählt und repräsentieren die typische EMF Exposition in der Schweiz. Die Mittellinie zeigt den Median, der blaue Balken das 25. und 75. Perzentil. Extremwerte liegen ausserhalb des 1.5*IQR (Interquartilsabstand) Bereichs und werden als einzelne Punkte dargestellt. Die Anzahl an verwendeten Datenpunkten ist unterhalb der Quellenbezeichnung durch n angegeben. Die Anzahl an Messungen bei Standorten mit derselben Primärquelle wird als N bezeichnet. Auf der rechten Seite werden für alle Primärquellentypen die prozentuale Zusammensetzung der Quellenbeiträge an der mittleren Gesamtflussdichte angegeben, siehe Gleichung (8). Die statistischen Kennzahlen befinden sich in Tabelle 41 und Tabelle 42 des Anhangs.

Die mittlere Exposition der gesamten niederfrequenten magnetischen Flussdichte ist in Abbildung 31 für Liegenschaften hinsichtlich der Primärquelle dargestellt. Verglichen mit den Medianwerten in Abbildung 30 ergibt sich ein ähnliches Muster, wobei erwartungsgemäss Mittelwerte etwas höher als Medianwerte sind. Die hohen Maximalwerte bei der Primärquellenkategorie «220/380 kV Freileitung» sind bei dieser Auswertung ebenfalls ersichtlich. Weitere hohe Werte der mittleren magnetischen Gesamtflussdichte treten bei Messungen der Kategorien zweispurige Eisenbahnlinien mit Tunnel (nur Langzeitmessungen) und bei 1-36 kV Freileitungen (nur mobile Messung) auf.

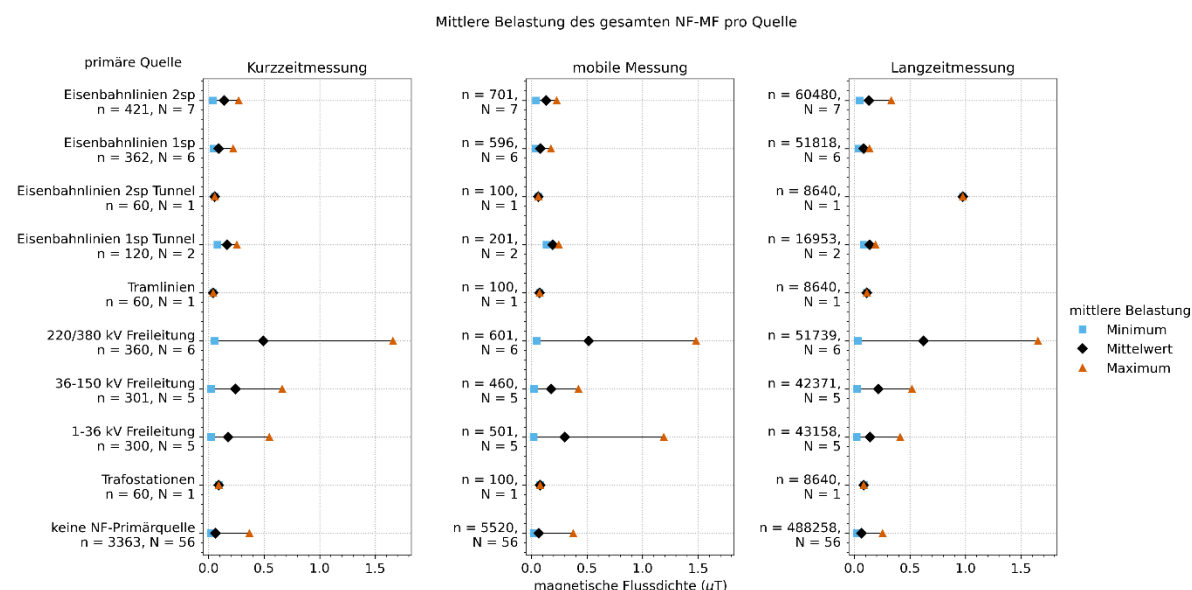


Abbildung 31: Spannweite der nach Gleichung (5) berechneten NF-MF magnetischen Gesamtflussdichte für jede Primärquelle. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender Gesamtflussdichten, siehe Gleichung (10). Die linke und rechte Begrenzung zeigen die tiefste und die höchste Stärke der Gesamtflussdichte. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt. Die Daten sind in Tabelle 43 des Anhangs aufgeführt.

3.3 Stationäre Dauermessungen

Die Auswertung der stationären Dauermessungen umfasst den gesamten Zeitraum des Jahres 2024 bei allen fünf in Kapitel V des Anhangs beschriebenen Messstationen.

Der zeitliche Verlauf der elektrischen Feldstärke für die RMS- und Peak-Werte in Neuenburg ist in Abbildung 32 dargestellt. Unterbrüche aufgrund von Stromausfällen, Batterieentladungen, Kabelbrüchen und Wartungsfenstern führen zu Lücken im Feldstärkeverlauf. Die in Abbildung 32 und dem Anhang gezeigten Linienplots erstrecken sich über das gesamte Jahr 2024. Die Auflösung ist nicht ausreichend, um tägliche Gangkurven erkennen zu können, jedoch treten Schwankungen und insbesondere Feldstärkespitzen über die gesamte Messdauer deutlich zu Tage. Analoge Abbildungen für die anderen vier Standorte befinden sich im Anhang (Abbildung 54 - Abbildung 57). Beim Rundfunk treten bei allen Messstationen hohe Peak-Werte auf. Diese stammen vorwiegend aus dem für das FM-Broadcasting genutzte HF-EMF Band Nr. 1 mit einer Mittenfrequenz von 97.75 MHz und einer erfassten Bandbreite von 35 MHz, siehe Tabelle 2. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre die unerwünschte Einkopplung von RF-Signalen in das USB-Ladekabel. Um übermässig hohe Peakwerte, welche durch Emissionen von Rundfunkquellen so nicht zu erklären sind, von der Analyse auszuschliessen, wurden

die Peakwerte in sämtlichen Bändern des Rundfunks gefiltert. Die Ansprechschwelle des Filters wurde dabei für jeden Tag neu ermittelt und beträgt das Zweifache des Abstandes zwischen dem Q1 und dem Q95 Quantil. Durch dieses Vorgehen verändern sich die Lage der Medianwerte kaum oder nur sehr geringfügig.

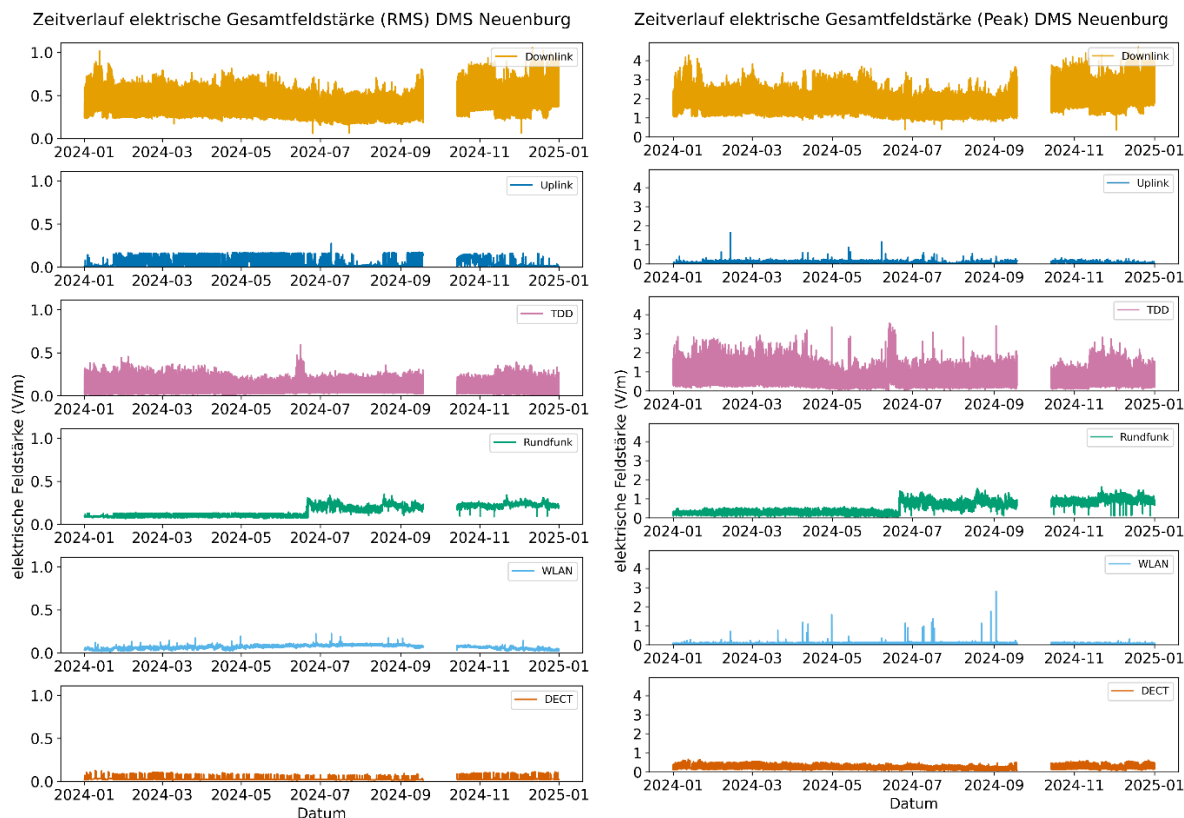


Abbildung 32: Elektrischer Feldstärkeverlauf der stationären Dauermessungen für das Jahr 2024 am G+P Standort in Neuenburg, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt. Die Feldstärkeverläufe der übrigen Messstationen sind im Anhang V, Abbildung 54 - Abbildung 57, gegeben.

Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen die RMS-, resp. Peak-Feldstärkeverteilung für jeden Standort auf. Je nach Betriebszeit des Sensors wurde eine leicht unterschiedliche Anzahl an Messungen durchgeführt, jedoch bei allen Standorten mehr als 2.6 Millionen. Für die Kategorie Downlink wurden am Standort *Zürich* die grössten Mediane festgestellt mit 1.04 V/m (RMS) und 5.22 V/m (Peak). Die niedrigsten Feldstärkewerte dieser Kategorie finden sich am Standort in *Neuenburg* mit 0.29 V/m (RMS) und 1.49 V/m (Peak). Die Uplink-Medianfeldstärken sind ebenfalls in *Zürich* am grössten, 0.02 V/m (RMS) und 0.08 V/m (Peak). Die Uplink-Beiträge sind damit deutlich niedriger als die Downlink-Feldstärken. Bei den übrigen Standorten sind die Uplink-Feldstärken noch niedriger mit 0.01 V/m bis 0.02 V/m (RMS) und 0.01 V/m bzw. 0.03 V/m (Peak). In der Kategorie TDD erstrecken sich die RMS-Feldstärken von 0.01 V/m (RMS) in *Allschwil* bis zu 0.17 V/m (RMS) in *Zürich*. Die Peak-Mediane reichen von 0.45 V/m (Peak) in *Neuenburg* bis zu 3.44 V/m (Peak) in *Aarau*. Die erfassten RMS-Rundfunk-Mediane sind in *Aarau* mit 0.36 V/m (RMS) am grössten, gefolgt von *Allschwil* und *Zürich* 0.31 V/m (RMS), *Deitingen* 0.15 V/m (RMS) und *Neuenburg* 0.12 V/m (RMS). Die Peak-Mediane für den Rundfunk lauten nach absteigender Grösse geordnet: *Allschwil* 1.21 V/m (Peak), *Aarau*

1.19 V/m (Peak), *Zürich* 1.08 V/m (Peak), *Deitingen* 0.42 V/m (Peak) und *Neuenburg* 0.38 V/m (Peak). WLAN und DECT-Quellen befinden sich normalerweise im Gebäudeinnern und entsprechend sind die Messwerte bei den fünf Aussenmessstandorten gering. Der Median der RMS-Feldstärke ist für WLAN in *Allschwil* und *Zürich* mit 0.09 V/m (RMS) am grössten, gefolgt von *Deitingen* und *Neuenburg* mit 0.07 V/m (RMS) und 0.06 V/m (RMS) in *Aarau*. Die Peak-Medianwerte für WLAN lauten in absteigender Reihenfolge: *Zürich* 0.36 V/m (Peak), *Deitingen* 0.14 V/m (Peak), *Allschwil* 0.08 V/m (Peak), *Neuenburg* und *Aarau* 0.06 V/m (Peak). Die Feldstärkewerte für DECT liegen zwischen 0.00 V/m (RMS) in *Deitingen* und 0.03 V/m (RMS) in *Allschwil*, respektive zwischen 0.02 V/m (Peak) in *Deitingen* und 0.24 V/m (Peak) in *Neuenburg*.

Verteilung elektrische Feldstärke (RMS) nach Quellenkategorie

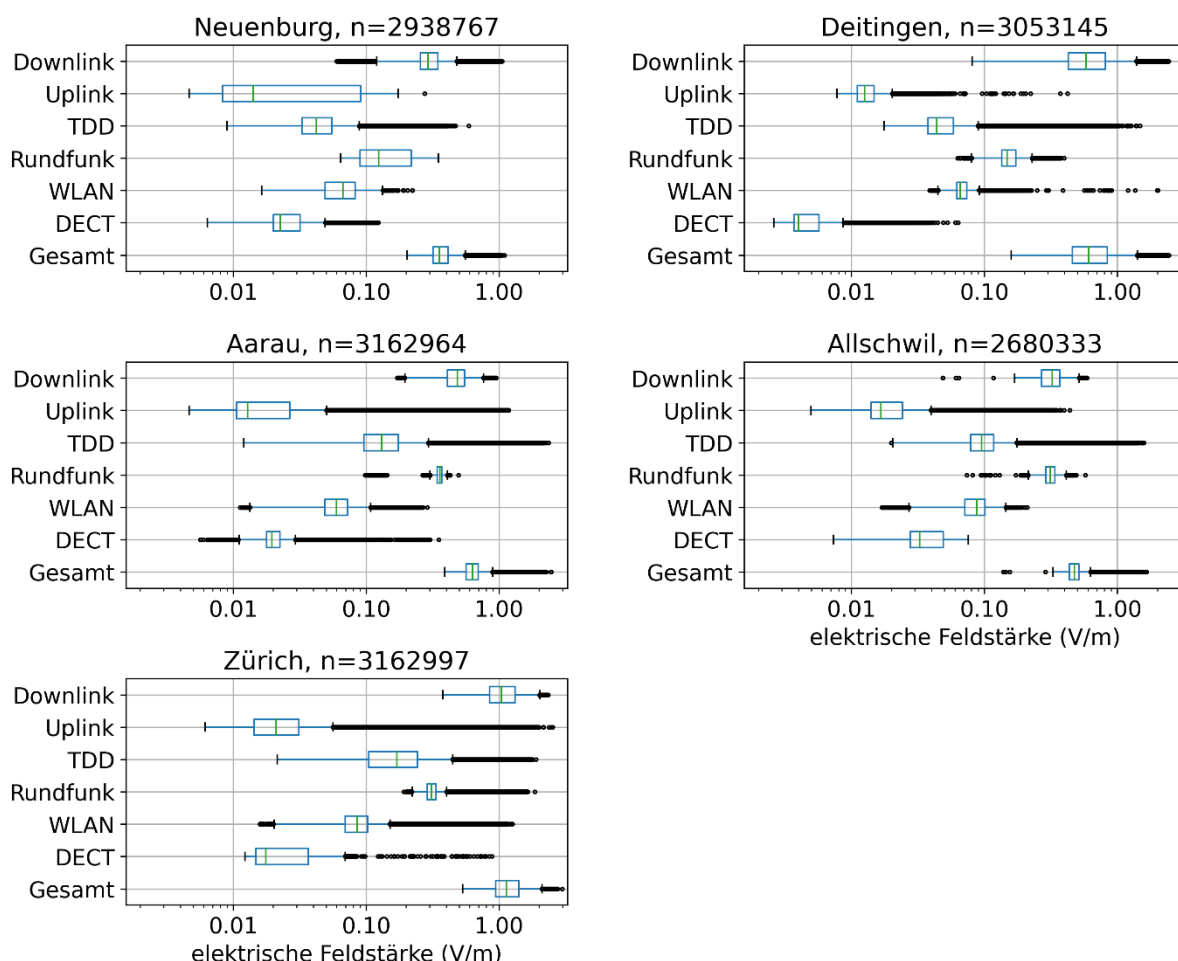


Abbildung 33: Verteilung der elektrischen Feldstärke (RMS) der Dauermessstationen nach Quellenkategorie – Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT. Die aus allen Kategorien resultierende Gesamtfeldstärke ist unter Gesamt dargestellt. Jeder Messstandort ist in einem eigenen Panel dargestellt. Die logarithmische Feldstärkeachse erstreckt sich in allen Panels zwecks besserer Vergleichbarkeit über einen identischen Bereich. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (4). Die Anzahl Messungen n, welche während des Jahres 2024 durchgeführt wurden, sind im Titel jeder Grafik neben der Standortbezeichnung aufgeführt. Die statistischen Kennzahlen befinden sich in Tabelle 45 des Anhangs.

Die Verteilung der Gesamtfeldstärke, welche aus allen Dienstkategorien resultiert, ist in der untersten Zeile dargestellt. Die RMS-Medianwerte der RMS-Gesamtfeldstärkewerte betragen in absteigender Reihenfolge: *Zürich* 1.14 V/m, *Aarau* 0.63 V/m, *Deitingen* 0.61 V/m, *Allschwil* 0.47 V/m, *Neuenburg* 0.36 V/m. Die Medianwerte der Peak-Gesamtfeldstärkewerte betragen in absteigender Reihenfolge: *Zürich* 6.13 V/m, *Aarau* 4.84 V/m, *Deitingen* 3.65 V/m, *Allschwil* 2.64 V/m und *Neuenburg* 1.72 V/m.

Verteilung elektrische Feldstärke (Peak) nach Quellenkategorie

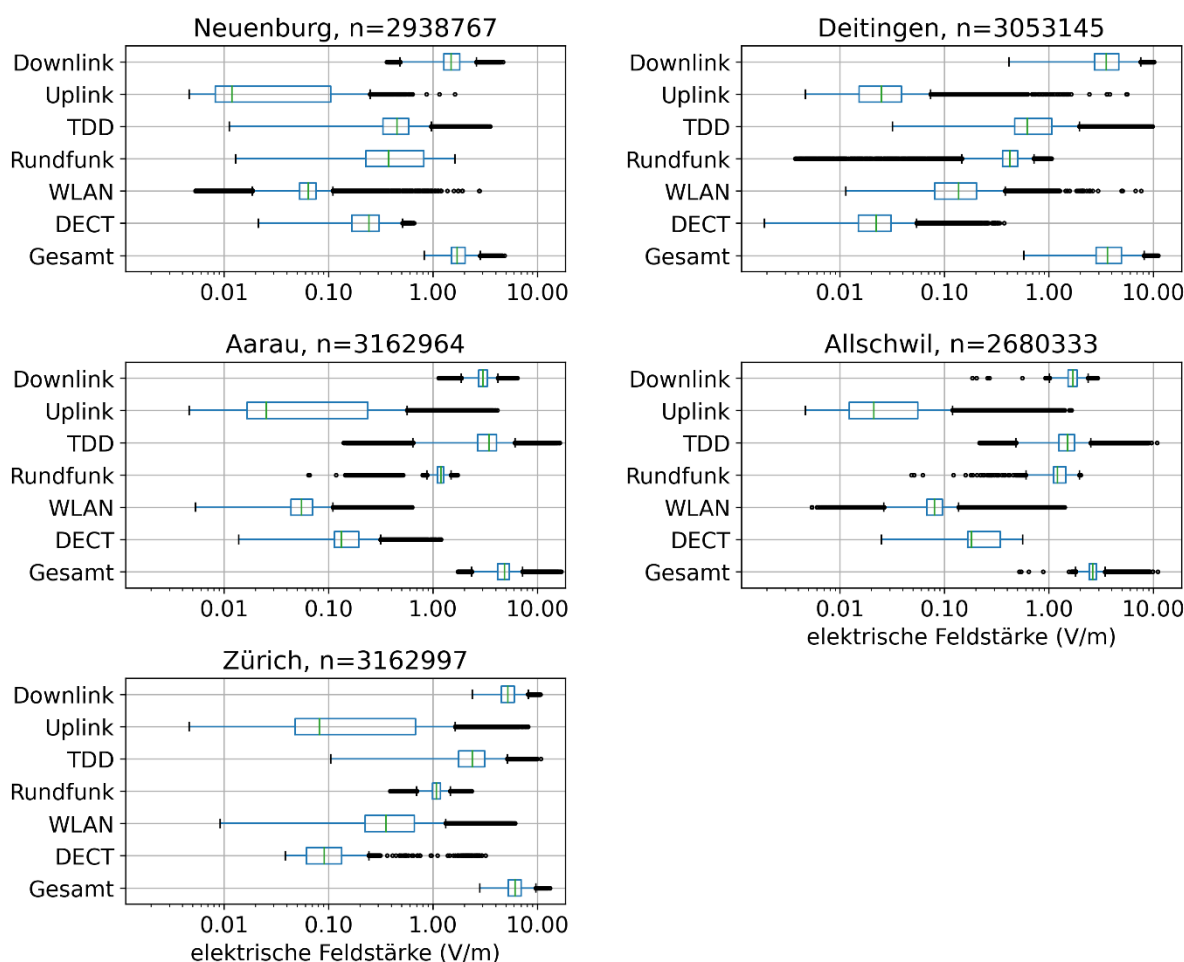


Abbildung 34: Verteilung der elektrischen Feldstärke (PEAK) der Dauermessstationen nach Quellenkategorie – Downlink, Uplink, TDD, Rundfunk, WLAN und DECT. Die aus allen Kategorien resultierende Gesamtfeldstärke ist unter Gesamt dargestellt. Jeder Messstandort ist in einem eigenen Panel dargestellt. Die logarithmische Feldstärkeachse erstreckt sich in allen Panels zwecks besserer Vergleichbarkeit über einen identischen Bereich. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (4). Die Anzahl Messungen n, welche während des Jahres 2024 durchgeführt wurden, sind im Titel jeder Grafik neben der Standortbezeichnung aufgeführt. Die statistischen Kenndaten befinden sich in Tabelle 44 des Anhangs.

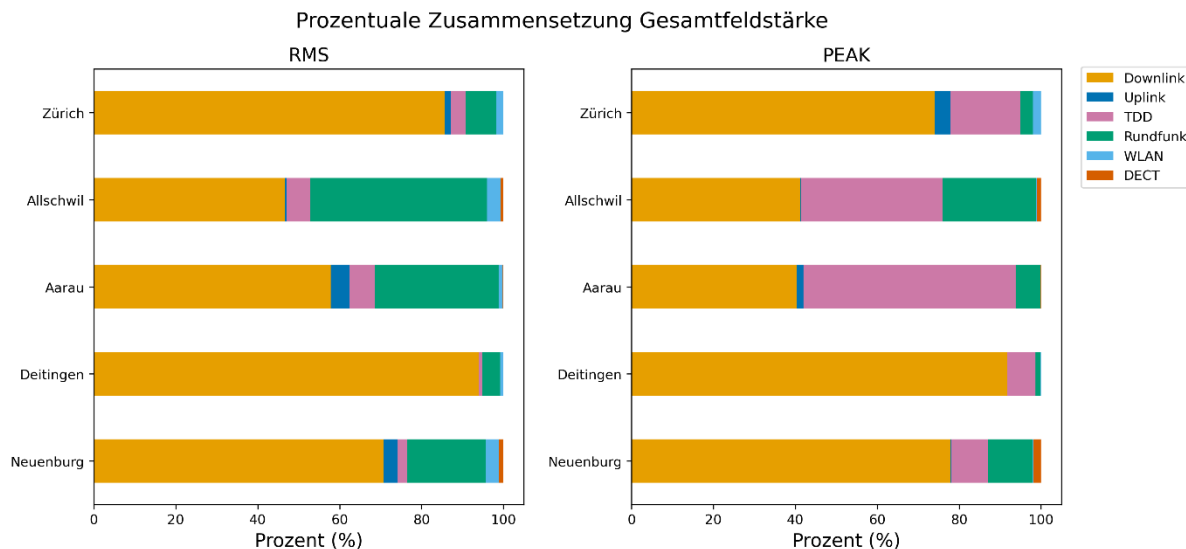


Abbildung 35: Prozentuale Zusammensetzung der Funkdienste an der Gesamtfeldstärke der Dauermessstationen, gruppiert nach Standort. Linkes Panel: RMS-Zusammensetzung. Rechtes Panel: Anteile der Peak-Werte.

Aus der in Abbildung 35 gezeigten Quellenzusammensetzung der RMS-Gesamtfeldstärke ist ersichtlich, dass die Downlinkanteile bei allen Messstandorten ca. die Hälfte oder mehr an der Gesamtfeldstärke beitragen (47-94 %). Der Rundfunk ist die zweitgrösste Quelle mit 43 % in *Allschwil*, 30 % in *Aarau*, 19 % in *Neuenburg*, 7 % in *Zürich* und 4 % in *Deitingen*. In *Aarau* und *Allschwil* ist der TDD-Anteil mit 6 % am höchsten. Der WLAN-Beitrag liegt nur in *Neuenburg* und *Allschwil* mit 3 % und in *Zürich* mit 2 % über ein Prozent. Bei den Peak-Werten sind die Downlink-Feldbeiträge in *Deitingen* mit 92 %, in *Neuenburg* mit 78 % und in *Zürich* mit 74 % deutlich dominierend. In *Allschwil* liegt der Downlink-Peakanteil bei 41 %, gefolgt von TDD (35 %) und Rundfunk (23 %). In *Aarau* verursachen TDD-Feldstärkespitzen mit 52 % die grössten Beiträge, gefolgt von Downlink (40 %) und Rundfunk (6 %).

Die kumulativen Verteilungsfunktion in Abbildung 36 zeigen die Expositionsverteilung an den fünf stationären Messstandorten. Die Station in *Zürich* weist über die gesamte Verteilung hinweg die höchsten Feldstärkewerte auf (Min: 0.53 V/m, Max: 2.97 V/m, IQR: 0.47 V/m). Die Spannweite ist bei der Station in *Deitingen* am grössten (Min: 0.16 V/m, Max: 2.44 V/m, IQR: 0.38 V/m). Die Station in *Aarau* (Min: 0.39 V/m, Max: 2.46 V/m, IQR: 0.13 V/m) weist oberhalb des fünfundfünfzigsten Perzentils die dritthöchsten Verteilungswerte auf und ist leicht höher als die Verteilung der RMS-Gesamtfeldstärkewerte in *Allschwil* (Min: 0.14 V/m, Max: 1.65 V/m, IQR: 0.07 V/m). *Neuenburg* hat die Feldstärkeverteilung mit den niedrigsten Werten (Min: 0.20 V/m, Max: 1.10 V/m, IQR: 0.09 V/m).

Bei den Peak-Werten weist wiederum Zürich die höchsten Verteilungswerte auf, gefolgt von Aarau, Deitingen, Allschwil und Neuenburg.

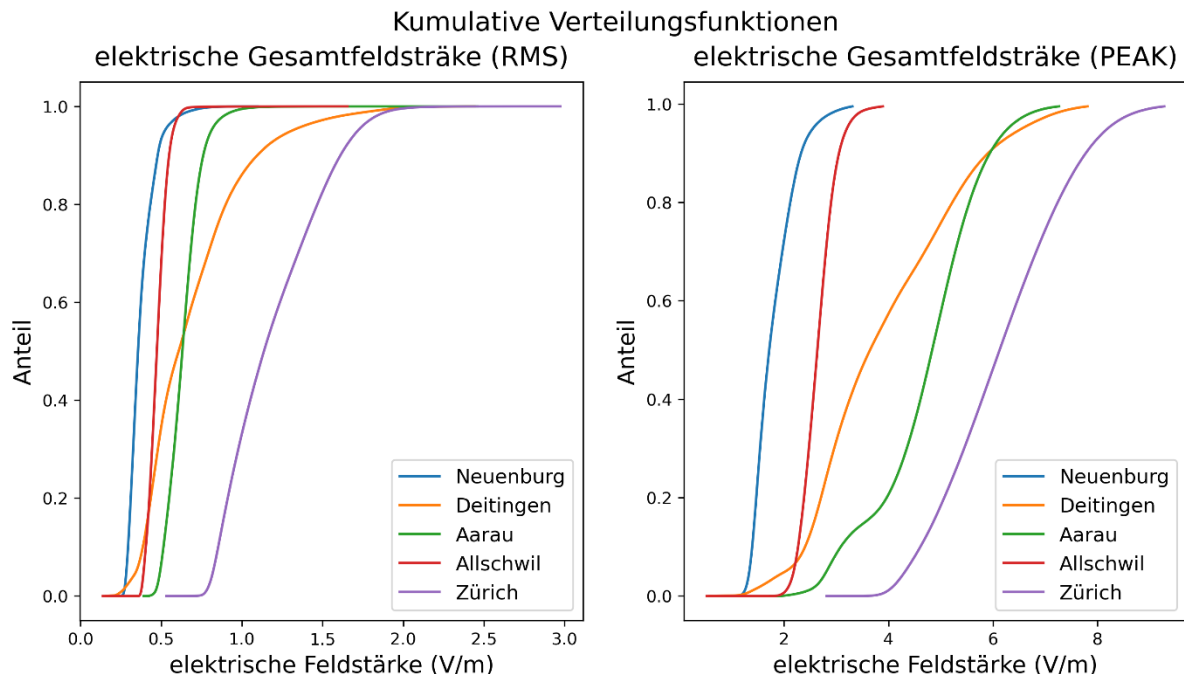


Abbildung 36: Kumulative Verteilungsfunktion der elektrischen Gesamtfeldstärke für jeden stationären Messtandort. Links ist die Verteilung der RMS-Gesamtfeldstärke dargestellt und auf der rechten Seite die Peak-Gesamtfeldstärkeverteilung. Aufgrund der hohen Werte im FM-Band wird die kumulative Verteilung nur bis zu 99.5 % dargestellt.

Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigen die RMS, respektive Peak Verteilung der elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat aggregiert. Da die Dauermessstationen meist auf Dächern an erhöhter Lage installiert sind und der Uplinkanteil beim TDD in einiger Entfernung zu den Mobilfunknutzern gering ausfallen dürfte, wurden die TDD-Signale dem Downlink in einer gemeinsamen Kategorie zugewiesen. Bei der Station in *Neuenburg* liegen die RMS-Medianwerte während den ersten neun Monaten zwischen 0.33 und 0.35 V/m. In den letzten drei Monaten des Jahres 2024 steigt die Medianfeldstärke auf zwischen 0.43 bis 0.45 V/m an. In *Deitingen* liegen die RMS-Werte während der ersten drei Monate zwischen 0.88 V/m und 0.93 V/m. Während der Monate April bis Oktober nehmen die RMS-Feldstärken ab und liegen zwischen 0.37 V/m und 0.55 V/m. Anschliessend steigt der monatliche Median wieder bis auf 0.67 bis 0.73 V/m an. Die Station in *Aarau* weist eine sehr geringe Schwankung der RMS-Werte über die Monate auf (0.58 V/m bis 0.68 V/m). Auch in *Allschwil* sind die monatlichen Schwankungen gering (0.44 V/m bis 0.54 V/m). Am ETH-Standort in *Zürich* liegen die RMS-Feldstärken zwischen 1.02 V/m und 1.19 V/m während des ganzen Jahres. In den Monaten Juli und September ist ein leichter Rückgang der Feldstärke auf zwischen 1.02 bis 1.05 V/m erkennbar. Die Peak-Feldstärkewerte weisen ähnliche jahreszeitliche Muster auf.

Median elektrische Gesamtfeldstärke nach Monat (RMS)

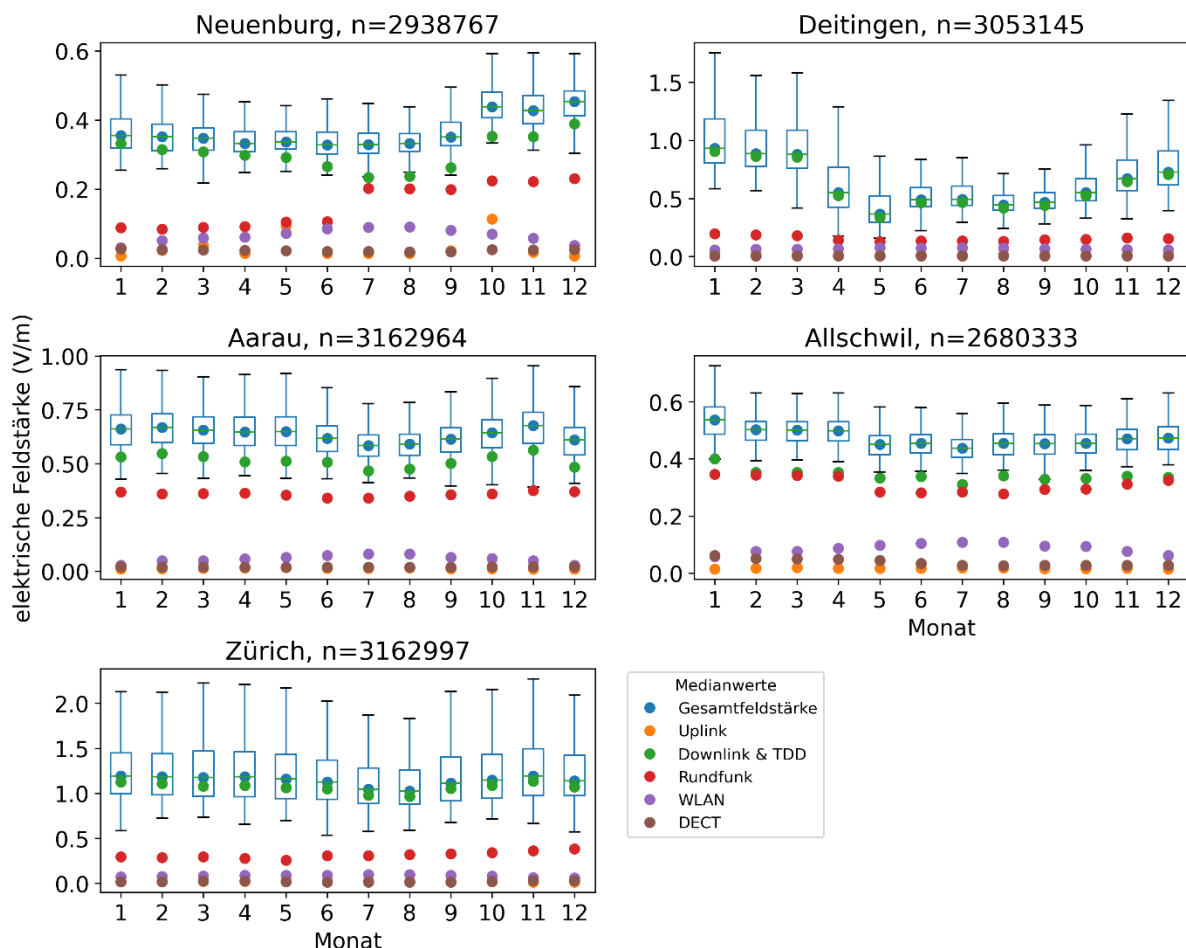


Abbildung 37: Verteilung der RMS elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat. Die einzelnen Panels zeigen die Verteilungen der stationären Standorte. n gibt die Anzahl an Messungen jeder Station im Jahr 2024 an. Die Beiträge der einzelnen Quellenkategorien sind als farbige Punkte dargestellt. Der Downlink und TDD werden zu einer gemeinsamen Quelle zusammengefasst. Für die Gesamtfeldstärke wird die Boxplot-Verteilung gezeigt - aus Gründen der Übersichtlichkeit allerdings ohne Ausreisser. Um den unterschiedlichen Wertebereichen Rechnung zu tragen, weist jeder Plot eine unterschiedliche Achsenskalierung auf. Eine Grafik mit Ordinaten über einen identischen Wertebereich zwecks verbesserter Vergleichbarkeit unter den Standorten und Angabe der Ausreisser befindet sich in Abbildung 60 des Anhangs.

Median elektrische Gesamtfeldstärke nach Monat (Peak)

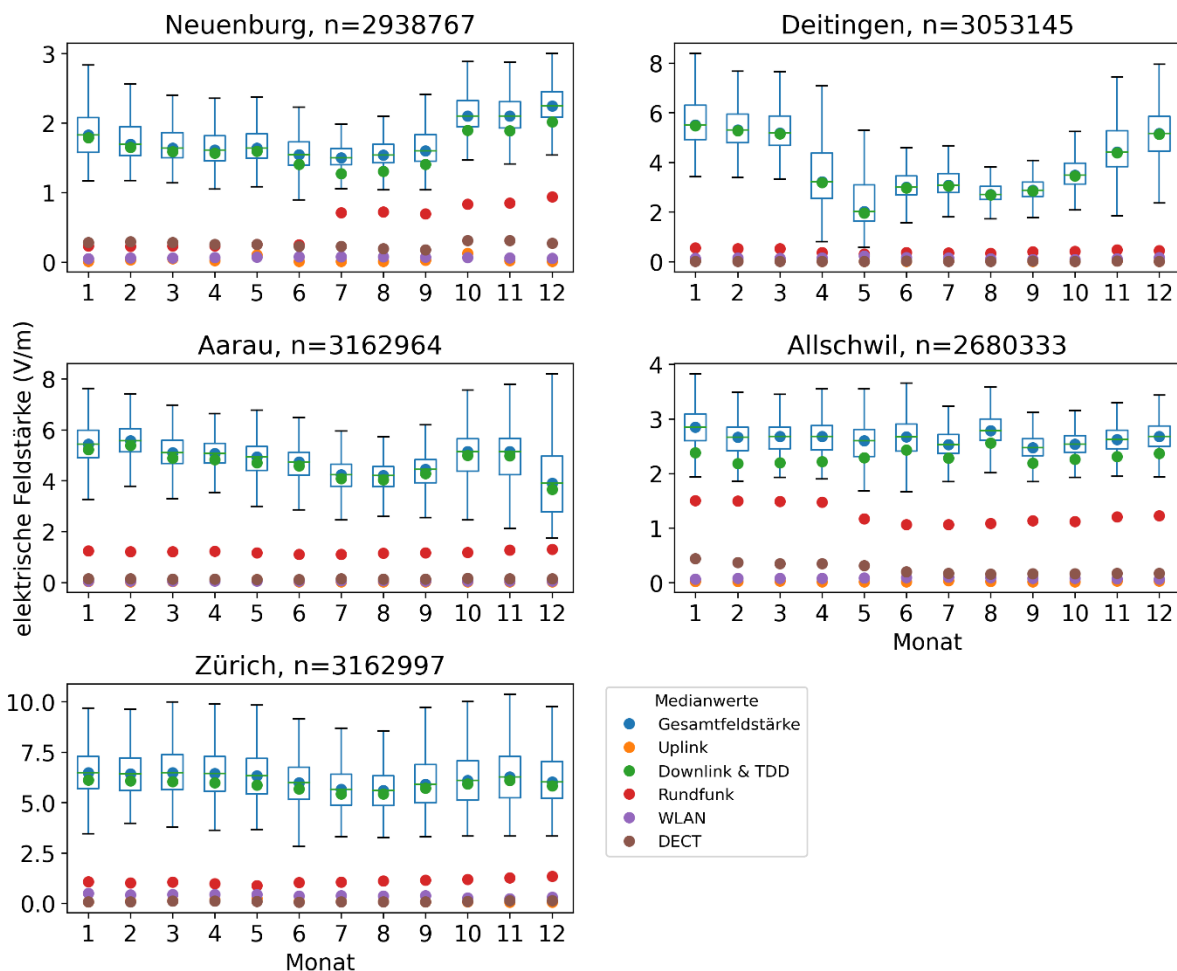


Abbildung 38: Verteilung der Peak elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat. Die einzelnen Panels zeigen die Verteilungen der stationären Standorte. n gibt die Anzahl an Messungen jeder Station im Jahr 2024 an. Die Beiträge der einzelnen Quellenkategorien sind als farbige Punkte dargestellt. Der Downlink und TDD werden zu einer gemeinsamen Quelle zusammengefasst. Für die Gesamtfeldstärke wird die Boxplot-Verteilung gezeigt - aus Gründen der Übersichtlichkeit allerdings ohne Ausreisser. Um den unterschiedlichen Wertebereichen Rechnung zu tragen, weist jeder Plot eine unterschiedliche Achsenskalierung auf. Eine Grafik mit Ordinaten über einen identischen Wertebereich zwecks verbesserter Vergleichbarkeit unter den Standorten und Angabe der Ausreisser befindet sich in Abbildung 61 des Anhangs.

Da sich die Dauermessstationen alle in der Nähe von Mobilfunkantennen befinden, siehe Abbildungen Abbildung 49 bis Abbildung 53 im Anhang, kann die Zusammensetzung der elektrischen Feldstärke der Mobilfunkfrequenzbänder in Abhängigkeit der Zeit untersucht werden. Abbildung 39 (RMS) und Abbildung 40 (Peak) zeigen die nach Monat aggregierten Frequenzbänder und deren prozentuale Beiträge an den Mobilfunkgesamtfeldstärken im entsprechenden Monat. Diese Form der Analyse erlaubt das Erkennen von Auf- und Abschaltungen der Mobilfunkdienste, sowie die Verlagerung von Sendeleistung in andere Frequenzbereiche in unmittelbarer Nähe der Messstandorte.

Zusammensetzung elektrische Feldstärke Frequenzbänder Mobilfunk (RMS)

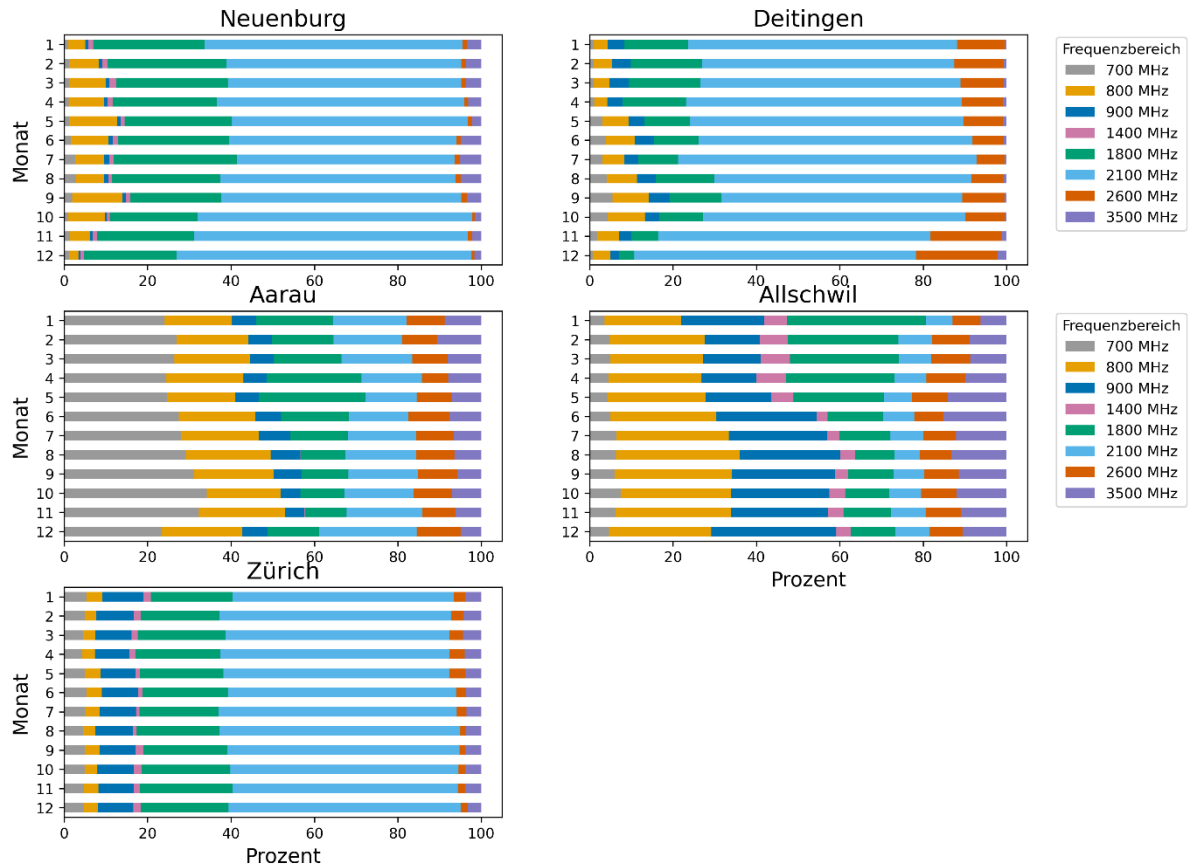


Abbildung 39: Prozentuale Beiträge der Mobilfunkfrequenzbänder an der durch den Mobilfunk verursachten Gesamtfeldstärke (RMS), aggregiert nach Monat für das Jahr 2024.

Zusammensetzung elektrische Feldstärke Frequenzbänder Mobilfunk (PEAK)

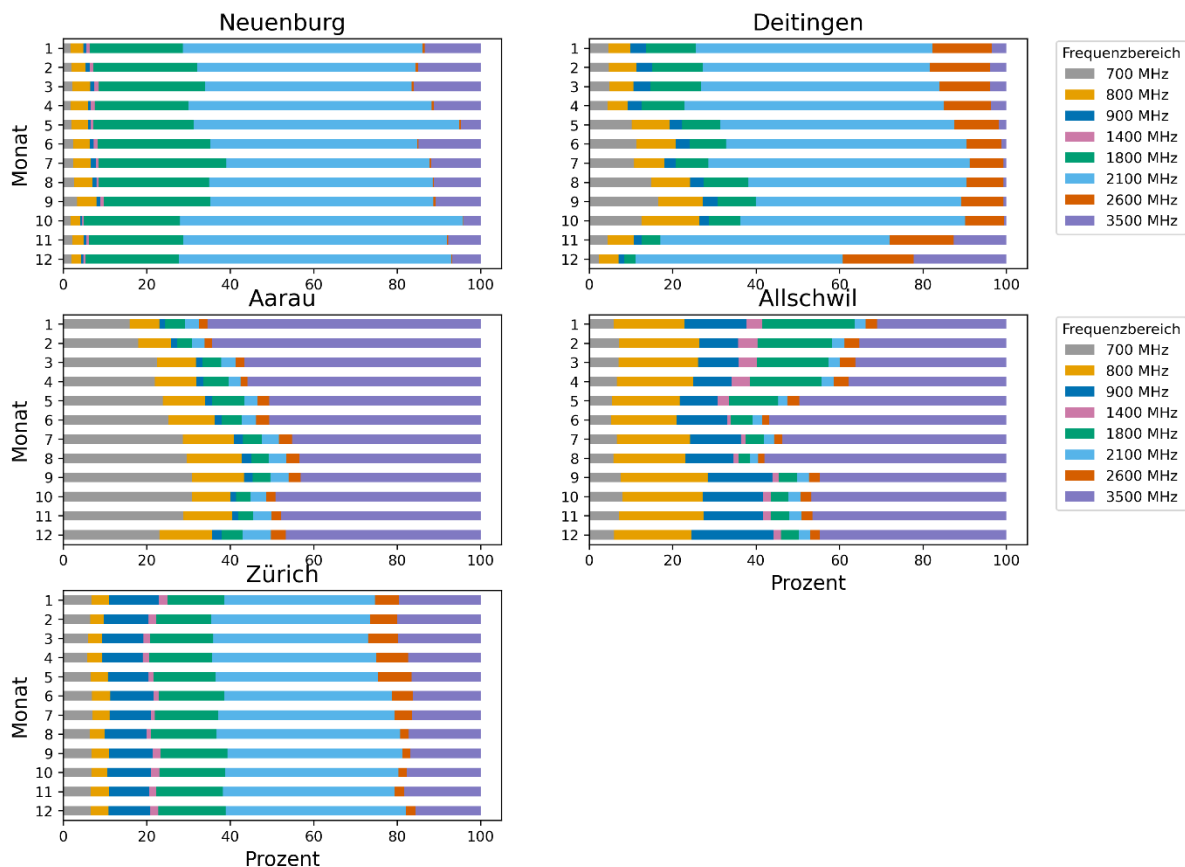


Abbildung 40: Prozentuale Beiträge der Mobilfunkfrequenzbänder an der durch den Mobilfunk verursachten Gesamtfeldstärke (Peak), aggregiert nach Monat für das Jahr 2024.

Abbildung 41 und Abbildung 43 zeigen die Verteilung der RMS- bzw. Peak-Werte für jede Stunde des Tages im Jahr 2024. Deutlicher erkennbar sind die standortabhängigen Tagesganglinie in Abbildung 42 und Abbildung 44 mit den Median-Werten pro Stunde in nicht-logarithmischer Darstellung. Das Minimum tritt bei allen Standorten um 4:00 auf, das Maximum um 21:00 oder 22:00, ausser in Zürich um 12:00.

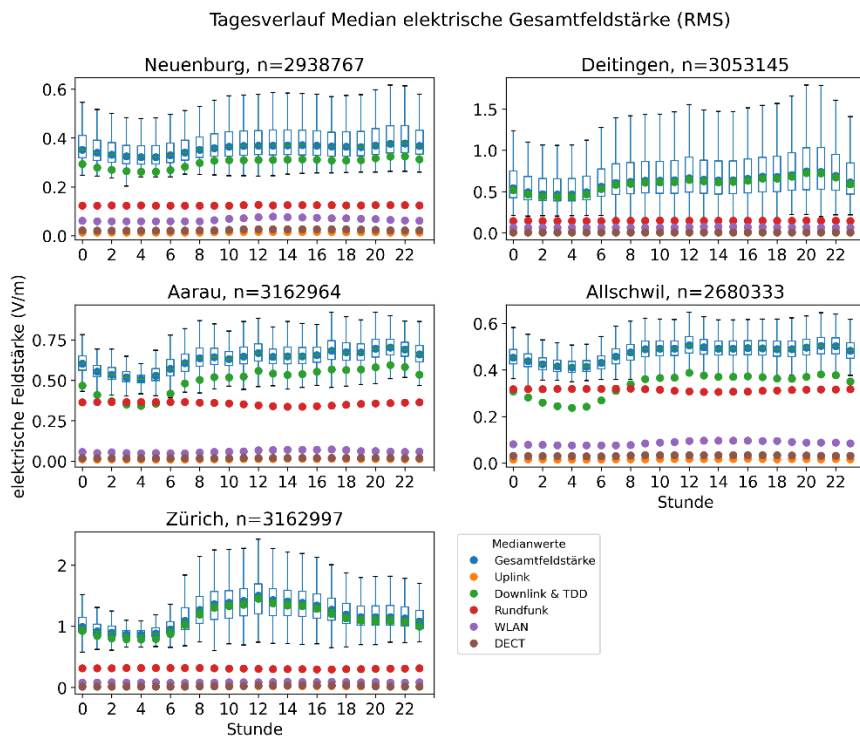


Abbildung 41: Verteilung der elektrischen RMS-Gesamtfeldstärke nach Stunde. Zusätzlich sind die Medianwerte der verschiedenen Quellenkategorien als farbige Punkte dargestellt. Das erste Intervall wird mit 0 Uhr bezeichnet und umfasst die Zeitspanne auf dem rechteckigen Intervall [00:00, 01:00), während das zweite Zeitintervall 1 den Zeitbereich von [01:00-02:00) umfasst, usw. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit werden Ausreisser ausserhalb des $1.5 \cdot \text{IQR}$ Bereichs nicht geplottet, siehe Abbildung 60 im Anhang V für eine entsprechende Darstellung.

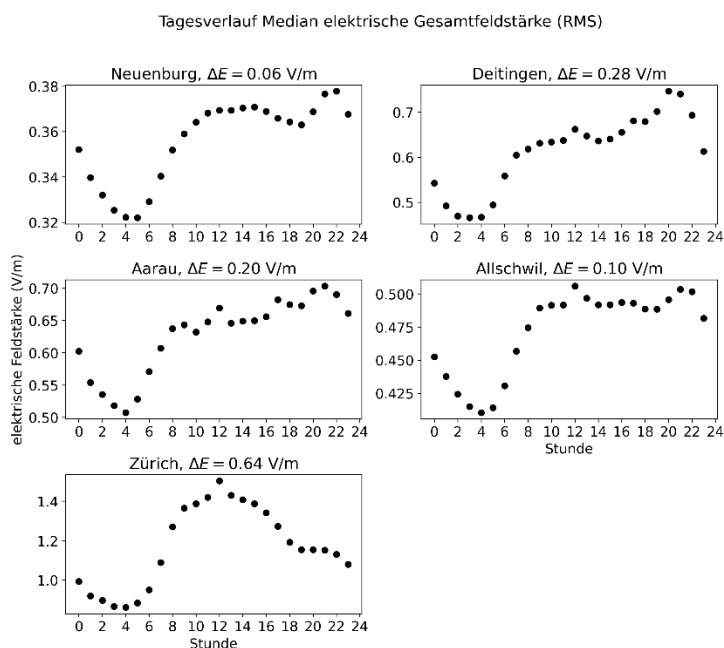


Abbildung 42: Tagesverläufe der Medianwerte aus Abbildung 41. Um die zeitlichen Verläufe der Medianwerte besser sichtbar zu machen, weisen die Feldstärkeachsen unterschiedliche Wertebereiche auf. Die maximale Tagesschwankung der Medianwerte ist durch den ΔE -Wert gegeben.

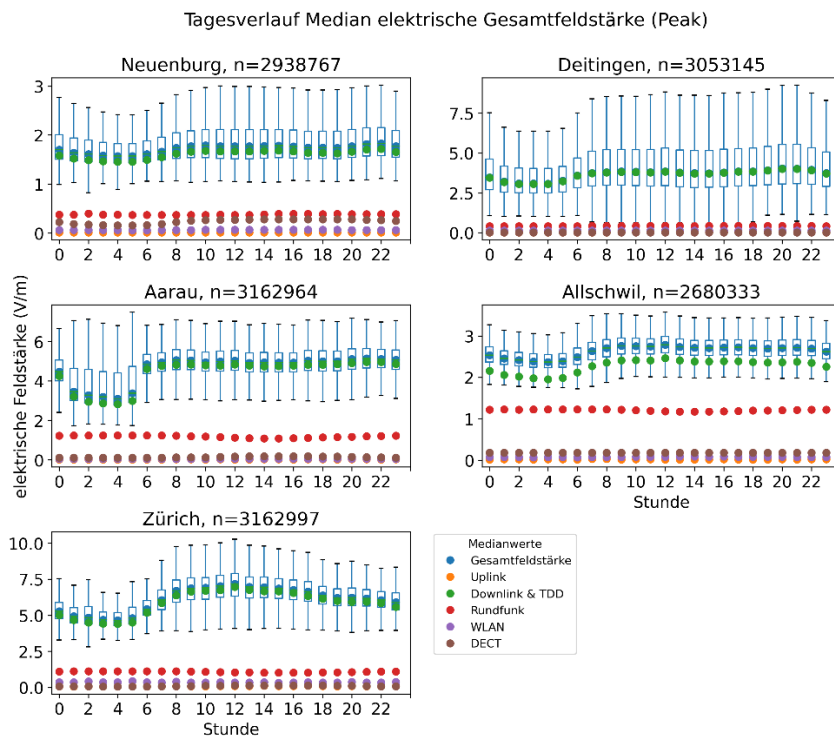


Abbildung 43: Verteilung der elektrischen Peak-Gesamtfeldstärke nach Stunde. Zusätzlich sind die Medianwerte der verschiedenen Quellenkategorien als farbige Punkte dargestellt. Das erste Intervall wird mit 0 Uhr bezeichnet und umfasst die Zeitspanne auf dem rechteckigen Intervall [00:00, 01:00), während das zweite Zeitintervall 1 den Zeitbereich von [01:00-02:00) umfasst, usw. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit werden Ausreisser ausserhalb des 1.5*IQR Bereichs nicht geplottet, siehe Abbildung 61 im Anhang V für eine entsprechende Darstellung.

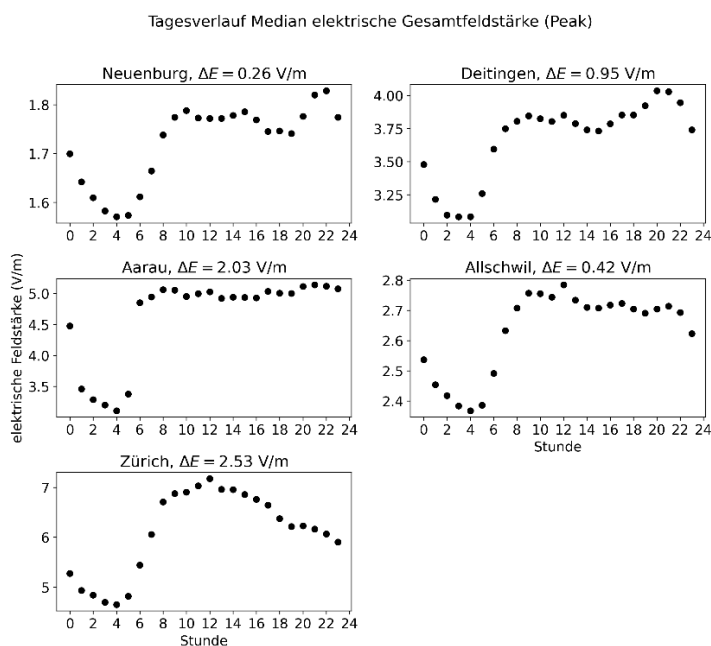


Abbildung 44: Tagesverläufe der Medianwerte aus Abbildung 43. Um die zeitlichen Verläufe der Medianwerte besser sichtbar zu machen, weisen die Feldstärkeachsen unterschiedliche Wertebereiche auf. Die maximale Tagesschwankung der Medianwerte ist durch den ΔE -Wert gegeben.

3.4 Vergleich Dauermessungen 2024 mit 2023

Sowohl im Jahr 2024 wie auch im Jahr 2023 wurde an identischen Positionen bei den Standorten in Neuenburg, Deitingen, Aarau, Allschwil und Zürich die elektrische Feldstärke mit der Frequenzbandliste aus Tabelle 2 gemessen. Dies erlaubt den direkten Vergleich der elektrischen Feldstärken zwischen den Jahren 2024 und 2023. Abbildung 45 zeigt die RMS-Feldstärkenverteilung der beiden Jahre für die fünf Standorte gruppiert nach Quellenkategorie. In *Neuenburg* nahm der Feldstärkenmedian beim Downlink von 0.24 V/m (2023) auf 0.29 V/m (2024) leicht zu. Bei den übrigen Quellenkategorien sind die Unterschiede zwischen den Medianwerten kleiner oder gleich 0.02 V/m. Der Median der Gesamtfeldstärke ist in Neuenburg von 0.28 V/m (2023) auf 0.36 V/m (2024) angestiegen. Beim Uplink hat sich der Interquartilsabstand (IQR) von 0.04 V/m (2023) auf 0.08 V/m (2024) vergrössert. Eine grössere Zunahme der Verteilungsbreite lässt sich auch in der Kategorie Rundfunk ausmachen (IQR: 2023: 0.03 V/m, 2024: 0.13 V/m). In *Deitingen* nahm der Downlink Feldstärkemedian von 0.63 V/m (2023) auf 0.58 V/m (2024) leicht ab. Die Medianwerte der übrigen Kategorien unterscheiden sich um weniger oder gleich 0.02 V/m. In Deitingen kommen im Erfassungsumkreis des Messgerätes keine DECT-Quellen zum Einsatz. Der Gesamtfeldstärkemedian nahm von 0.65 V/m (2023) auf 0.61 V/m (2024) ab. Die Interquartilsabstände sind bei den meisten Kategorien gleichgeblieben. Der IQR nahm im Jahr 2024 bei der Kategorie Downlink um 0.07 V/m zu. In *Aarau* sind die Medianwerte zwischen 2023 und 2024 für alle Quellenkategorien beinahe identisch und weichen um höchstens 0.01 V/m ab. Auch die Breite der Interquartilsabstände ist vergleichbar geblieben. In *Allschwil* nahm der Downlink von 0.39 V/m (2023) auf 0.32 V/m (2024) ab. Die Gesamtfeldstärke nahm von 0.52 V/m (2023) auf 0.47 V/m (2024) ab. Auch bei den Interquartilsabständen gab es keine grösseren Veränderungen. In *Zürich* liegen die Medianwerte sämtlicher Kategorien nicht weiter als 0.02 V/m auseinander zwischen den beiden Messjahren. Auch die IQR sind vergleichbar.

Abbildung 46 zeigt die Peak Feldstärkenverteilung der beiden Jahre 2023 und 2024. In *Neuenburg* liegen die Medianwerte beim Downlink im Jahr 2024 mit 1.49 V/m um 0.35 V/m höher als im Jahr 2023 mit 1.14 V/m. Die Peak Gesamtfeldstärkemedian ist von 1.27 V/m (2023) auf 1.72 V/m (2024) gestiegen. Die grösste Zunahme bei der Verteilungsbreite fand in der Kategorie Rundfunk statt (IQR: 2024: 0.59 V/m, 2023: 0.09 V/m). Die höchsten Maximalwerte wurden beim Downlink (Max: 2024: 4.71 V/m, 2023: 3.74 V/m) gemessen und beim TDD (Max: 2024: 3.53 V/m, 2023: 4.88 V/m). In *Deitingen* liegen die Medianwerte der Verteilungen weniger als 0.21 V/m auseinander. Auch die Verteilungsbreiten sind vergleichbar. In *Aarau* ist der TDD-Median von 3.79 V/m (2023) auf 3.44 V/m (2024) zurückgegangen. Die übrigen Medianwerte weichen weniger als 0.2 V/m ab. Auch bei den IQR-Abständen gibt es keine markanten Unterschiede. In *Allschwil* sank der Downlink-Median von 1.97 V/m (2023) auf 1.70 V/m (2024). Der TDD-Median veränderte sich im gleichen Zeitraum von 1.22 V/m (2023) auf 1.51 V/m (2024). Bei der DECT-Telefonie gab es einen Rückgang des Medians von 0.42 V/m (2023) auf 0.18 V/m (2024). In *Zürich* liegen die Medianwerte nahe beieinander und unterscheiden sich höchstens um 0.13 V/m. Auch bei den Verteilungsbreiten gibt es keine markanten Veränderungen.

Verteilung elektrische Feldstärke (RMS) nach Quellenkategorie

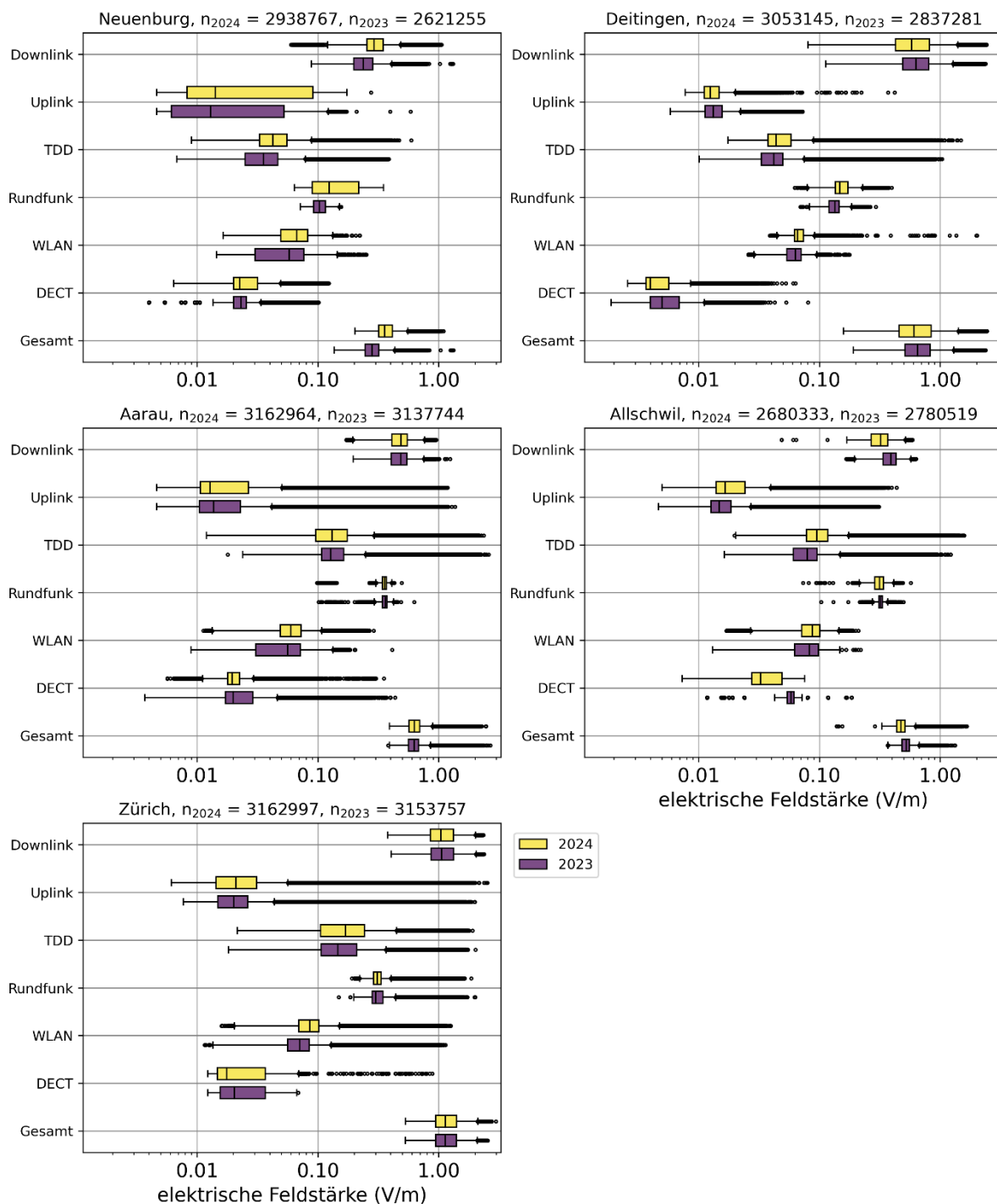


Abbildung 45: Verteilung der elektrischen Feldstärke (RMS) der Dauermessstationen nach Quellenkategorie – Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT für die Jahre 2024 (gelb) und 2023 (violett). Die aus allen Kategorien resultierende Gesamtfeldstärke ist unter Gesamt dargestellt. Jeder Messstandort ist in einem eigenen Panel dargestellt. Die logarithmische Feldstärkeachse erstreckt sich in allen Panels zwecks besserer Vergleichbarkeit über einen identischen Bereich. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (4). Die Anzahl Messungen n sind im Titel jeder Grafik neben der Standortbezeichnung aufgeführt. Die statistischen Kennzahlen befinden sich in Tabelle 46 des Anhangs.

Verteilung elektrische Feldstärke (Peak) nach Quellenkategorie

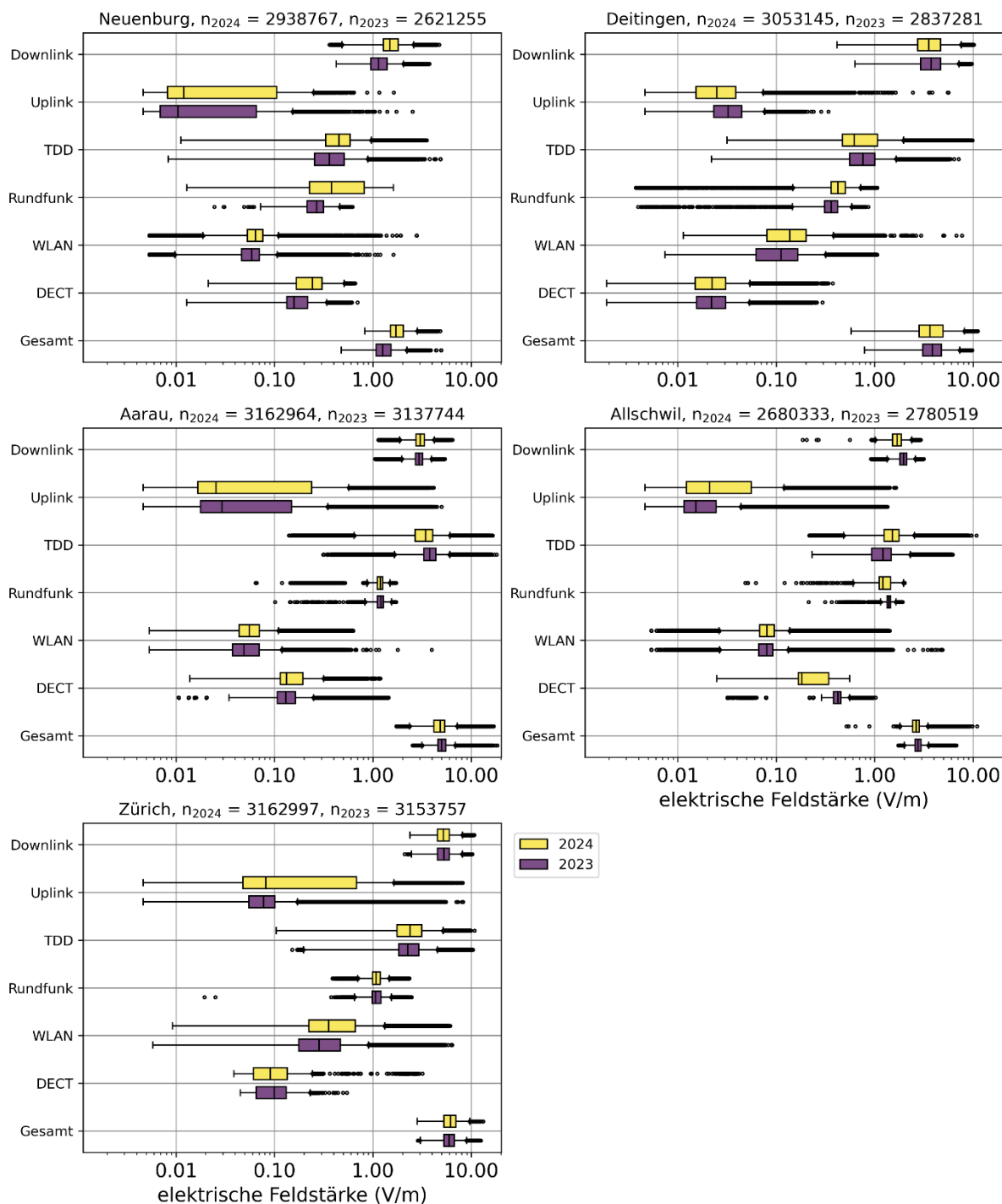


Abbildung 46: Verteilung der elektrischen Feldstärke (Peak) der Dauermessstationen nach Quellenkategorie – Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT für die Jahre 2024 (gelb) und 2023 (violett). Die aus allen Kategorien resultierende Gesamtfeldstärke ist unter Gesamt dargestellt. Jeder Messstandort ist in einem eigenen Panel dargestellt. Die logarithmische Feldstärkeachse erstreckt sich in allen Panels zwecks besserer Vergleichbarkeit über einen identischen Bereich. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (4). Die Anzahl Messungen n sind im Titel jeder Grafik neben der Standortbezeichnung aufgeführt. Die statistischen Kennzahlen befinden sich in Tabelle 47 des Anhangs.

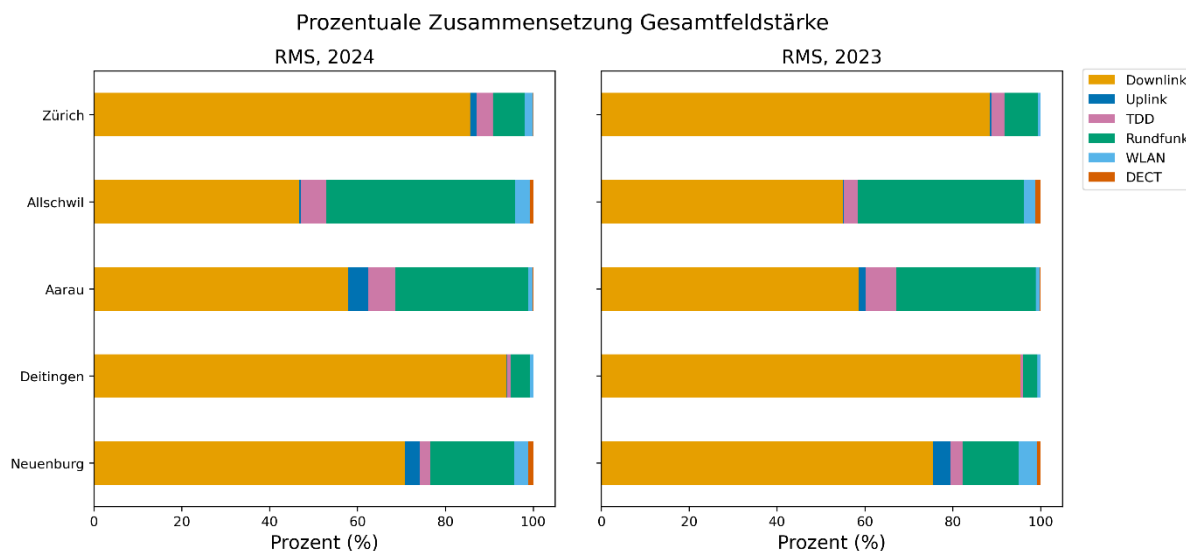


Abbildung 47: Prozentuale Zusammensetzung der Funkdienste an der Gesamtfeldstärke der Dauermessstationen, gruppiert nach Standort. Linkes Panel: RMS-Zusammensetzung im Jahr 2024. Rechtes Panel: RMS-Zusammensetzung im Jahr 2023.

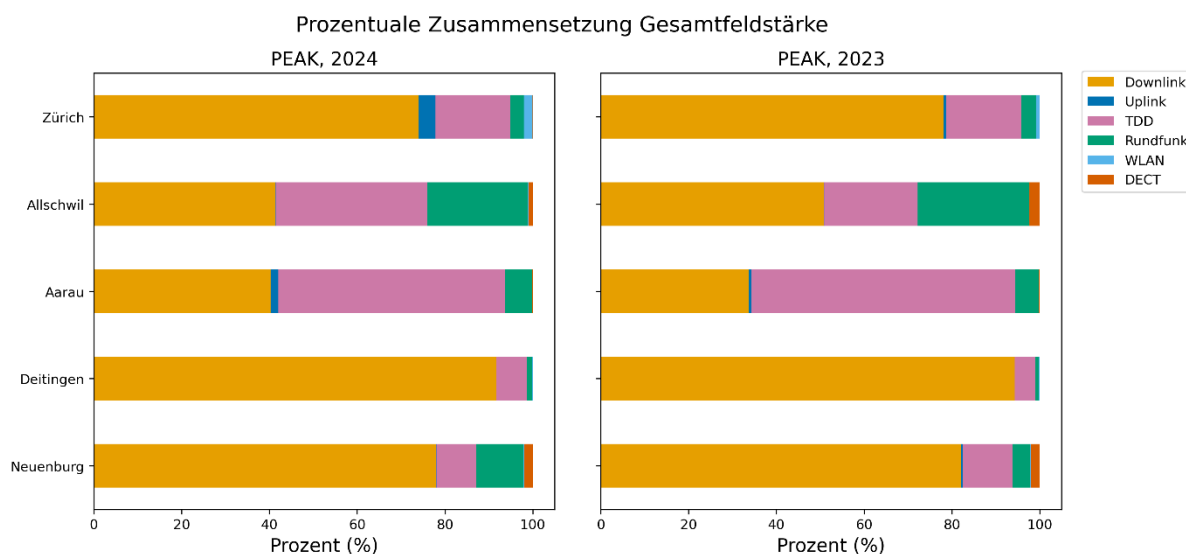


Abbildung 48: Prozentuale Zusammensetzung der Funkdienste an der Gesamtfeldstärke der Dauermessstationen, gruppiert nach Standort. Linkes Panel: PEAK-Zusammensetzung im Jahr 2024. Rechtes Panel: PEAK-Zusammensetzung im Jahr 2023.

Abbildung 47 zeigt die prozentuale Zusammensetzung der Gesamtfeldstärke nach Quellenkategorie für die RMS-Messungen während der Jahre 2023 und 2024. Insgesamt kann gesagt werden, dass die Muster der RMS-Feldstärkenverteilung gleichgeblieben sind. In Zürich haben der Uplink- und der WLAN-Anteil leicht zugenommen. In Allschwil zeichnet sich eine Reduktion des Downlinkanteils und eine entsprechende Zunahme des TDD- und Rundfunkanteils ab. In Aarau hat der Downlinkanteil im Jahr 2024 leicht zugenommen. In Deitingen gibt es kaum Veränderungen in der Zusammensetzung. In Neuenburg ist der Rundfunkanteil leicht gestiegen.

Bei der Zusammensetzung der Peakwerte in Abbildung 48 fällt auf, dass die TDD-Anteile in *Allschwil* zugenommen haben und in *Aarau* und *Neuenburg* leicht abgenommen haben. In *Neuenburg* hat der Rundfunk im Jahr 2024 einen grösseren prozentualen Anteil an der Gesamtfeldstärke.

4. Diskussion und Erkenntnisse

Das Hauptziel dieses Jahresberichts besteht darin, die Messungen, die im Rahmen des Schweizer NIS-Expositionsmonitorings durchgeführt wurden, zu beschreiben. Bei den Routenmessungen sind Daten vom Jahr 2024 von insgesamt 150 Mikroumgebungen, 108 öffentlichen Orten und 181 Verkehrsmitteln dargestellt. Zusätzlich werden die bereits im Jahresbericht 2022 [6] analysierten Daten von 150 Mikroumgebungen, 95 öffentlichen Bereichen und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln mit den im Jahr 2024 neu erhobenen Daten in den gleichen Messumgebungen verglichen. Eine vertiefte Analyse wird für alle Messungen in fünf Schulen und in Autos mit dem Handy im Online- und Flugmodus präsentiert. Bei den Spotmessungen handelt es sich bei den präsentierten Daten in diesem Jahresbericht um 90 Liegenschaften, die zwischen 2021 und April 2025 vermessen wurden. Die Dauermessungen an fünf exemplarisch ausgewählten Standorten sind seit 2023 in Betrieb. Es wird eine separate Analyse für 2024 präsentiert sowie ein Vergleich mit den Daten von 2023.

4.1 Routenmessungen

4.1.1 Routenmessungen im Jahr 2024

Im Jahr 2024 reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) bei den Mikroumgebungen der Routenmessungen von 0.08 V/m in Naturgebieten bis 0.30 V/m in Industriegebieten (Abbildung 10). Die Medianwerte der HF-EMF (RMS) nehmen tendenziell mit zunehmender Urbanisierung zu. Das höchste 95. Perzentil (Q95) liegt aber in Industriegebieten bei 0.82 V/m. In den öffentlichen Bereichen reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.04 V/m in der Bibliothek bis 0.38 V/m bei Tramhaltestellen. Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel weisen höhere Medianwerte (HF: 0.32 – 0.38 V/m) auf als Bereiche im Gebäudeinneren, wie Supermärkte, Schulen oder Bibliotheken (HF: 0.04 – 0.09 V/m). Das liegt vor allem daran, dass in Innenräumen die Emissionen der Mobilfunkantennen teilweise abgeschirmt werden. In Verkehrsmitteln reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.10 V/m in Autos bis 0.30 V/m in Zügen. Die berichteten Werte sind mit Studienergebnissen aus dem Ausland vergleichbar [9-14].

In Bezug auf NF-MF liegen die Medianwerte (RMS) in den Mikroumgebungen zwischen 0.02 μ T in Sport- und Freizeitgebiet und 0.19 μ T in Stadtzentren (Abbildung 14). Die Medianwerte der NF-MF (RMS) nehmen mit zunehmender Urbanisierung generell zu. Die höchsten Spitzenwerte wurden aber in Stadtzentren beobachtet. Das 95. Perzentil (Q95) liegt bei 0.63 μ T. In öffentlichen Bereichen reichen die Medianwerte der NF-MF (RMS) von 0.03 μ T in der Bibliothek bis 0.39 μ T in Bahnhöfen. In öffentlichen Verkehrsmitteln reichen die Medianwerte der NF-MF (RMS) von 0.02 μ T in Seilbahnen bis 0.44 μ T in Zügen. Auch die Spitzenwerte (95. Perzentil) sind in Zügen (6.34 μ T) und Bahnhöfen (2.76 μ T) am höchsten. Die Vergleichbarkeit von NF-Messungen mit internationalen Daten ist aufgrund der geringen Anzahl von Studien zu diesem Thema begrenzt.

Der Immissionsgrenzwert wurde bei den NF- und HF-Messungen maximal zu 25% bzw. 6% ausgeschöpft. Mehr als die Hälfte der Messdaten ist kleiner als 1% des Immissionsgrenzwertes.

4.1.2 Messungen an Schulen

Die Zusatzauswertungen umfassten die Ergebnisse von 17 NF- und HF-Messungen an fünf Schulen (zwei Primar-, zwei Sekundarschulen, ein Gymnasium). Gemessen wurde auf Pausenplätzen innen

und aussen sowie auf den Korridoren, wo dies möglich war. Spezifische Messungen in den Klassenzimmern fanden nicht statt um den Unterricht nicht zu stören. Die gemessene Belastung an Schulen liegt deutlich unterhalb der Grenzwerte.

Im Vergleich mit anderen Messungen im öffentlichen Raum zeigt sich die mittlere HF-EMF-Belastung in Schulen mit 0.09 V/m auf einem tiefen Niveau (Abbildung 17). Die Bandbreite der mittleren Belastung an Schulen deckt sich mit der Belastung im öffentlichen Bereich. Auf den «Pausenplätzen - aussen» stammt der Hauptteil der Belastung von Mobilfunkanlagen (Downlink: 77-89%), allerdings auf tiefem Niveau. Bei Pausenplätzen im Innern ist die Gesamtbelastung nochmals reduziert, wobei der Hauptteil der Belastung dann vom WLAN (61%) stammt. In den Pausen steigt der durch Mobiltelefone verursachte Strahlungsanteil leicht an (Uplink: 2-12%). Die mittlere NF-Exposition in Schulen ist mit 0.04 μT relativ tief (Abbildung 18). Es gibt nur wenige Studien über die Exposition gegenüber NF-MF in Schulen. Die im Rahmen des NIS-Monitorings gemessenen Expositionen sind höher als in einer spanischen Studie [15], wo im Durchschnitt in 26 Schulen auf dem Schulhof und in den Klassenzimmern 0.015 μT bzw. 0.017 μT gemessen wurde.

4.1.3 Vergleich 2022/2024 bei Routenmessungen

Die Routenmessungen wurden in den Jahren 2022 und 2024 in denselben 150 Mikroumgebungen und 95 öffentlichen Bereichen, zur selben Tageszeit (+/- eine Stunde) und zur selben Jahreszeit (+/- eine Woche) wiederholt. Die Vergleiche für die einzelnen Messumgebungen sind in Abbildung 20 bis Abbildung 23 dargestellt. Zusammenfassend zeigt Tabelle 34 die Median- und Mittelwerte für alle Mikroumgebungen, öffentliche Bereiche und öffentliche Verkehrsmittel.

Die mediane HF-Gesamtexposition veränderte sich über die zwei Jahre in Mikroumgebungen (2022 und 2024: 0.15 V/m), in öffentlichen Bereichen (2022: 0.20 V/m, 2024: 0.22 V/m), und in öffentlichen Verkehrsmitteln (2022: 0.22 V/m, 2024: 0.23 V/m) nur wenig. Peak-Werte sind den Mikroumgebungen (2022: 0.69 V/m, 2024: 0.78 V/m), in öffentlichen Bereichen (2022: 1.15 V/m, 2024: 1.24 V/m), und in Verkehrsmitteln (2022: 1.42 V/m, 2024: 1.52 V/m) etwas stärker angestiegen. Der RMS-Medianwert des Downlinks für alle Mikroumgebungen liegt bei 0.10 V/m, für alle öffentlichen Bereiche bei 0.17 V/m und für alle Verkehrsmittel bei 0.10 V/m.

In Bezug auf die RMS-Werten blieb die HF-Gesamtexposition zwischen 2022 und 2024 relativ konstant. Während die TDD-Medianwerte für RMS (0.01 V/m) und Peak (< 0.16 V/m) für alle Messungen in den Jahren 2022 und 2024 niedrig bleiben, stiegen die mittleren TDD-RMS-Werte in Mikroumgebungen und an öffentlichen Bereichen in geringerem Masse an. Der leichte Anstieg des TDD-Anteils wird durch einen Rückgang der anderen Quellen, insbesondere des Downlinks, ausgeglichen. Dennoch bleibt die Downlink-Exposition in den meisten Mikroumgebungen und in öffentlichen Bereichen die Hauptexpositionsquelle. Auch in öffentlichen Verkehrsmitteln ist der Downlink (2022: 0.24 V/m, 2024: 0.22 V/m) gefolgt von Uplink (2022 und 2024: 0.19 V/m) und TDD (2022: 0.08 V/m, 2024: 0.15 V/m) dominierend.

Betrachtet man hingegen die mittleren Peak-Werte ist TDD im Jahr 2024 die Hauptquelle der Exposition in Verkehrsmitteln (2022: 0.96 V/m, 2024: 1.69 V/m). Die Peak-Medianwerte des Downlinks haben in Mikroumgebungen (2022: 0.53 V/m, 2024: 0.58 V/m), in öffentlichen Bereichen (2022: 0.82 V/m, 2024: 0.90 V/m), und in Verkehrsmitteln (2022: 0.51 V/m, 2024: 0.56 V/m) über die zwei Jahre eher leicht zugenommen.

Der Anteil der Uplink-Exposition ist bei den Mikroumgebungen klein, dafür deutlich höher in öffentlichen Verkehrsmitteln. Der hohe Anteil von Uplink stammt aus der Nutzung der Mobiltelefone der Fahrgäste. Dabei ist in Bezug auf TDD zu beachten, dass nicht zwischen Immissionen von Mobiltelefonen und Basisstation unterschieden werden kann, da beides auf der gleichen Frequenz gesendet wird. Es ist anzunehmen, dass die Anteile ähnlich sind wie das Verhältnis von Up- und Downlink. Das würde bedeuten, dass in Zügen der grössere Anteil der TDD-Immissionen von Mobiltelefonen stammt, während in öffentlichen Bereichen und draussen (Mikroumgebungen), der Hauptanteil von Mobilfunkbasisstationen stammt. In Bezug auf die vom eigenen Körper absorbierte Mobilfunkstrahlung würde die Benutzung des eigenen Mobiltelefons zu noch höheren Uplinkwerten führen als gemessen. Das liegt daran, dass die Telefone der Fahrgäste eine gewisse Distanz zum Messgerät aufweisen und das Mobiltelefon des Messtechnikers im Stand-by-Modus war.

Die mittlere RMS-WLAN-Exposition ist im Jahr 2022 (<0.12 V/m) und 2024 (<0.10 V/m) in allen Messumgebungen ähnlich tief. Die medianen WLAN Peak-Werte in öffentlichen Verkehrsmitteln stiegen von 0.29 V/m im Jahr 2022 auf 0.41 V/m im Jahr 2024, was kompatibel mit einer Zunahme von Hotspot-Nutzung in den Zügen wäre. Die Belastungen durch Rundfunk und DECT haben sich zwischen 2022 und 2024 nicht wesentlich verändert. Rundfunk bleibt nach Downlink die zweitwichtigste Expositionsquelle in den Mikroumgebungen mit einem Median-RMS-Wert von 0.05 V/m.

4.2 Wohnungsmessungen

Die Wohnungsmessungen beschäftigen sich mit der Frage, welcher HF-EMF und NF-MF Exposition Anwohner in der Nähe von externen EMF-Quellen in ihrer Wohnung ausgesetzt sind (Standorte mit einer Primärquelle) bzw. wie hoch typische Werte ohne Quellennähe sind (Standorte ohne Berücksichtigung der Primärquelle). Dabei wird bewusst an Orten in der Wohnung gemessen, an denen sich Personen über einen längeren Zeitraum aufhalten. Damit die Verteilungen repräsentative Werte für die zu erwartende Exposition in Wohnungen aufzeigen, wird eine genügend grosse Anzahl an Messung für jeden Primärquellentyp benötigt. Bei den bis April 2025 vorliegenden Daten ist dies noch nicht überall der Fall. Gegenüber dem Datenbestand des Berichts 2024 konnte die Situation durch Hinzufügen weiterer Messpunkte verbessert werden. Die HF-EMF Messungen in der Nähe von Radio/TV-Sendern weisen nun einen Datensatzumfang von neun Messungen auf ($N=9$). Bei den ELF-Messungen gibt es jedoch weiterhin Kategorien mit weniger als vier Messungen. Die Resultate dieser Primärquelle liefern daher noch keine repräsentativen Werte für die zu erwartende Exposition und werden in der nachfolgenden Diskussion nicht weiter berücksichtigt. Bei einem solch kleinen Stichprobenumfang können die Verteilungen stark durch die Gegebenheiten an einzelnen Messstandorten beeinflusst werden. Im weiteren Verlauf des Monitorings sind dann robustere Daten zur Expositionsverteilung in verschiedenen Wohnungen zu erwarten.

4.2.1 HF-Exposition

Die Medianwerte der HF-EMF (RMS) liegen bei der *Kurzzeitmessung* zwischen 0.14 V/m (keine HF-Primärquelle) und 0.38 V/m (in der Nähe von Rundfunksendern). Für *mobile Messungen* liegen die entsprechenden Medianwerte zwischen 0.09 und 0.35 V/m und für *Langzeitmessungen* zwischen 0.09 und 0.36 V/m. Die höchsten gemessenen HF-EMF (RMS) Werte in einer Wohnung liegen bei den *Kurzzeitmessungen* zwischen 1.05 V/m (keine HF-EMF Primärquelle) und 1.69 V/m (Radio/TV) bzw. bei den *mobilen Messungen* zwischen 1.78 V/m (Mobilfunk) und 2.48 V/m (keine HF-EMF

Primärquelle) und bei den *Langzeitmessungen* zwischen 1.10 V/m (Radio/TV) und 1.79 V/m (Mobilfunk).

Bei den *Kurzzeitmessungen* in Räumen mit längerer Aufenthaltsdauer sind die HF-EMF Messwerte im Allgemeinen tiefer als draussen bei den Routenmessungen. Das ist in erster Linie auf die Abschirmung durch die Gebäudehülle zurückzuführen. Die Frequenzen des Mobilfunks (Downlink) werden durch die Gebäudehülle besser abgeschirmt als die tieferen Frequenzen des Rundfunks. Für Wohnungen ohne primäre HF-EMF Quelle sind die HF-EMF RMS-Medianwerte (0.14 V/m) nur wenig tiefer als für Orte, welche aufgrund der Nähe zu einer Mobilfunkbasisstation (0.17 V/m) ausgewählt wurden. Jedoch ist die Variabilität der Exposition für Letztere höher. So geht aus Tabelle 35 hervor, dass der Interquartilsabstand für Messumgebungen in der Nähe von Mobilfunkanlagen mit 0.20 V/m deutlich grösser ist, als 0.11 V/m in der Abwesenheit von HF-Primärquellen. Auch das 95. Perzentil ist mit 0.63 V/m höher als für Standorte, welche in Bezug auf den Mobilfunk zufällig ausgewählt wurden (0.33 V/m). Das gleiche Bild ergibt sich bei den *mobilen Messungen* in den Wohnungen. Der RMS-Medianwert bei den Orten mit Mobilfunk als Primärquelle beträgt 0.15 V/m und bei der Kategorie «keine HF-Primärquelle» 0.09 V/m. Die Interquartilsabstände unterscheiden sich mit 0.19 V/m («Mobilfunk») und 0.11 V/m («keine HF-Primärquelle») ebenfalls. Auch bei den *24h-Langzeitmessungen* sind diese Unterschiede bei den RMS-Medianwerten mit 0.15 V/m («Mobilfunk») resp. 0.09 V/m («keine HF-Primärquelle») und bei den Interquartilsabständen erkennbar (0.20 V/m für Wohnungen in der Nähe einer Mobilfunkanlage und mit 0.10 V/m, wenn keine HF-Primärquelle vorliegt). Dies zeigt, dass im Vergleich zur Abwesenheit einer HF-Primärquelle bei Wohnungen in der Nähe von Mobilfunkantennen erhöhte Belastungssituationen wahrscheinlicher auftreten können, dies aber nicht immer der Fall ist. Die in den Wohnungen gemessene Belastung hängt neben der Gebäudedämpfung, von der Distanz zur Quelle, der Dämpfung durch Hindernisse, der effektiven Sendeleistung, der Abstrahlcharakteristik der naheliegenden Mobilfunkbasisstation sowie von der räumlichen Anordnung des Messortes relativ zur Quelle ab. Das Vorhandensein einer Mobilfunkquelle muss also nicht zwingend zu einer starken Belastung am OMEN führen, kann aber bei einer ungünstigen Konstellation der vorgenannten Faktoren in einer erhöhten Expositionssituation resultieren. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei der Primärquelle «Mobilfunk» der Downlink massgeblich zur Gesamtfeldstärke beiträgt, gefolgt von der Kategorie Rundfunk und bei den Kurzzeitmessungen, welche meistens im Wohnzimmer durchgeführt wurden, auch WLAN.

Die RMS-Medianwerte der Rundfunkdienste (0.35-0.38 V/m) liegen in der Nähe von Rundfunksendern für alle Teilmessungen deutlich über den Medianwerten für den Mobilfunk und den Messorten ohne Primärquelle. Der Interquartilsabstand ist höher als für die übrigen beiden Kategorien. Die konsistent erhöhten Expositionen in der Nähe von Rundfunksendern erklären sich wahrscheinlich hauptsächlich mit dem homogenen Abstrahlverhalten von Rundfunksendern im Vergleich zu Mobilfunkbasisstationen und der geringeren Gebäudedämpfung für diese Frequenzen. Damit dominiert bei Liegenschaften in der Nähe von Rundfunksendern die entsprechende Dienstkategorie die Zusammensetzung der Gesamtfeldstärke stark (80-96 %). Lediglich bei Kurzzeitmessungen im Wohnzimmer trägt WLAN mit 17 % zur Gesamtfeldstärke bei.

In Abwesenheit primärer HF-Quellen variiert die Zusammensetzung des HF-EMF Gesamtfeldes stärker, ist aber ebenfalls von Downlink, Rundfunk und WLAN dominiert.

Bei den Langzeitmessungen im Schlafzimmer trägt WLAN im Mittel nur geringfügig bei. Bei der mobilen Messung werden verschiedene Räume der Liegenschaft durchschritten, was zu einer unterschiedlich stark ausgeprägten WLAN und DECT Abdeckung führt, insgesamt aber niedriger ausfällt als bei der Kurzzeitmessung und höher als bei der Langzeitmessung. Dies lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass WLAN Access Points und DECT Telefone aufgrund der Platzierung von Steckdosen und Telefonanschluss vorwiegend in Räumen mit häufigem und langem Aufenthalt platziert werden und nicht im Schlafzimmer. Damit erklären sich auch teilweise die höheren HF-EMF Messwerte bei den Kurzzeitmessungen im Vergleich zu den mobilen und Langzeitmessungen. Bei den mobilen Messungen ist zu beachten, dass die Exposition wie bei den Routenmessungen aufgrund der Körperabschirmung um ca. 10 % unterschätzt wird (siehe unten). Diese Unterschätzung ist bei den Kurz- und Langzeitmessungen nicht zu erwarten. Uplink und Time-Division-Duplex tragen über alle Teilmessungen hinweg bei sämtlichen Messumgebungstypen weniger als 3 % zur Gesamtfeldstärke bei. Das liegt vermutlich daran, dass von den Bewohnern während der Messungen eine verminderte Mobilfunknutzung stattfindet und sich die Mobiltelefone der Messtechnikern während der Durchführung der Messung im Flugmodus befinden. Während der Messungen wird die Mobilfunknutzung der Bewohner jedoch nicht eingeschränkt.

Bei den Peak-Werten ergibt sich grundsätzlich dasselbe Bild wie bei den RMS-Werten. Die Quellenanteile variieren bei den Peak-Werten zwischen den unterschiedlichen Wohnungstypen etwas stärker, insbesondere bei den Kurzzeitmessungen, da Feldstärken-Extremwerte über einen grösseren Wertebereich streuen können. Insgesamt ist der Rundfunkanteil kleiner, dafür die Beiträge von TDD, WLAN und DECT etwas höher. Dies lässt sich durch die Art der Signalmodulation (Pulsierung) bei den verschiedenen Technologien erklären. Während Rundfunkdienste über längere Zeit mit konstanter Leistung senden, sind die Signale von TDD (Mobilfunk), DECT und WLAN stärker moduliert.

4.2.2 NF-Exposition

Die Medianwerte der magnetischen Gesamtflussdichte bei der *Kurzzeitmessung* reichen von 0.04-0.22 μT , bei der *mobilen Messung* von 0.03-0.25 μT und bei der *Langzeitmessung* von 0.04-0.35 μT sowie 1.32 μT bei einem einzelnen Schlafzimmer. Diese NF-Messwerte sind vergleichbar mit Expositionsmessungen, die 2012/13 in der Schweiz und in Italien in 246 Schlafzimmern durchgeführt wurden [16]. In dieser Studie betrug der Mittelwert der magnetischen Flussdichte 0.06 μT und der Höchstwert lag bei 0.7 μT .

Die Messungen bei Liegenschaften in der Nähe einer «220 / 380 kV Freileitung» führen bei allen drei Teilmessungen zu erhöhten Werten der magnetischen Flussdichte. Die maximalen Einzelwerte betragen (Kurzzeitmessung: 1.68 μT , mobile Messung: 2.07 μT , Langzeitmessung: 2.07 μT) und liegen somit über dem Anlagegrenzwert (AGW) von 1 μT , den die NISV für (neue) Übertragungsleitungen an Orten wie Wohnungen, Schulen oder Spitäler festlegt. Auch bei einer Liegenschaft in der Nähe einer 1-36 kV Freileitung wird ein maximaler Wert der magnetischen Flussdichte von 1.66 μT erreicht. Beim AGW handelt es sich um einen vorsorglichen Grenzwert. Er muss im massgebenden Betriebszustand eingehalten sein und soll die Langzeitbelastung an Orten, an denen sich Menschen regelmässig während längerer Zeit aufhalten, tief halten und so auch das Risiko für allfällige, heute noch nicht erkennbare Gesundheitsfolgen reduzieren. Der AGW für die magnetische Flussdichte ist für 50-Hz-Felder 100-mal tiefer als der Immissionsgrenzwert, der vor den wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsauswirkungen schützt. Der Anlagegrenzwert gilt für die Strahlung einer einzelnen Anlage. Bei den vorliegenden Messungen wurde die Gesamtbelastung aus

allen Quellen erfasst. Der genaue Beitrag der Hochspannungsleitung lässt sich nicht eruieren, obwohl anzunehmen ist, dass diese hohe Exposition hauptsächlich auf die Freileitung zurückzuführen ist. Anzumerken ist weiter, dass der Anlagegrenzwert nur für neue Hochspannungsleitungen gilt, nicht jedoch für alte, d.h., für solche, die bereits vor dem Inkrafttreten der NISV am 1. Februar 2000 in Betrieb waren. Überschreiten alte Übertragungsleitungen den Anlagegrenzwert, muss die sog. Phasenbelegung, soweit dies technisch möglich ist, optimiert werden. Dadurch kann die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes reduziert werden. Darüber hinaus bestehen keine weiteren Anforderungen. Hält eine alte Leitung den Anlagegrenzwert auch nach erfolgter Phasenoptimierung nicht ein, gilt diese Leitung dennoch als NISV-konform [17].

Bei Bahnlinien verlangt die NISV die Einhaltung des AGWs von $1 \mu\text{T}$, bezüglich des «über 24 Stunden gemittelten Effektivwerts der magnetischen Flussdichte». Messungen bei Liegenschaften in der Nähe von Eisenbahnlinien beinhalten für alle Teilkategorien Datenpunkte oberhalb von $1 \mu\text{T}$. Aus der Boxplot-Verteilung von zweispurigen Eisenbahnlinien wird ersichtlich, dass bei den Kurzzeitmessungen (max: $1.02 \mu\text{T}$) und bei den Langzeitmessungen (max: $1.11 \mu\text{T}$) nur einzelne Datenpunkte über $1 \mu\text{T}$ liegen. Der über die Dauer der Langzeitmessung gemittelte Effektivwert der magnetischen Flussdichte (RMS, 16.7 Hz) verursacht durch den Eisenbahnstrom beträgt $0.19 \mu\text{T}$, womit der AGW erfüllt ist. Bei einer anderen Liegenschaft nahe einer einspurigen Eisenbahnlinie weist die Langzeitmessung einen Maximalwert von $1.09 \mu\text{T}$ auf. Der über die Dauer der Langzeitmessung gemittelte Effektivwert bei 16.7 Hz beträgt $0.18 \mu\text{T}$, womit der AGW ebenfalls erfüllt ist. Bei der Kategorie «keine NF-Primärquelle» befindet sich eine Wohnung (zufällig) in der Nähe von Bahnanlagen, was ebenfalls zu einem Maximum über $1 \mu\text{T}$ führt. Der über die Langzeitmessung gemittelte RMS-Wert der magnetischen Flussdichte verursacht durch den Eisenbahnstrom beträgt $0.19 \mu\text{T}$. Bei einer einspurigen Eisenbahnlinie mit Tunnel wurde gegen Ende der mobilen Messung ein Maximalwert von $1.46 \mu\text{T}$ erfasst. Aufgrund der kurzen Messdauer von 10 Minuten kann der 24-stündige Mittelwert für die Beurteilung der Einhaltung des AGWs nicht gebildet werden. Man beachte, dass für Eisenbahnlinien die Quellenzuordnung eindeutig ist, da es in diesem Frequenzband keine anderen Quellen gibt.

Bei einer Liegenschaft nahe eines zweispurigen Eisenbahntunnels weist die Langzeitmessung im Schlafzimmer eine hohe Asymmetrie bei der Verteilung der magnetischen Flussdichte auf. Als Maximalwert wurde $2.92 \mu\text{T}$ ermittelt und der Median liegt bei $1.32 \mu\text{T}$. Die Feldstärkebeiträge weisen bei 50 Hz einen Anteil von 99.4 % auf. Eine Analyse des Flussdichteverlaufs hat gezeigt, dass keine für Eisenbahnlinien typischen Muster vorliegen. Es wird daher vermutet, dass die Immissionen hauptsächlich von einem elektrisch beheizten Wasserbett stammen. Dass die Feldstärkeverteilung durch eine interne Quelle beeinflusst wird zeigt sich auch daran, dass die entsprechenden Werte bei den übrigen Teilmessungen in der gleichen Quellenkategorie unauffällig sind.

4.2.3 Stationäre Dauermessungen

Während die Routenmessungen und die Spotmessungen die Immission durch elektrische und magnetische Felder über einen relativ kurzen Zeitraum an vordefinierten Orten in der gesamten Schweiz erfassen, wird mit den stationären Dauermessungen ein anderer Ansatz verfolgt. Anstatt einen geografisch grossen und möglichst vielfältigen Raum abzudecken, liegt der Fokus in diesem Kapitel darauf, die Immissionssituation an wenigen Orten über einen langen Zeitraum zu verfolgen, um Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf der Exposition zu erhalten. An fünf Standorten des Projektkonsortiums SwissNIS wurden während des gesamten Jahres 2024 Dauermessungen durchgeführt.

Da die ExpoM-RF4 Messgeräte bei allen Messstationen im Freien positioniert sind, können die Medianwerte am ehesten mit jenen aus den Routenmessungen verglichen werden. Die Messstationen befinden sich in unterschiedlichen Messumgebungstypen, siehe dazu Kapitel 2.4.4 und Abbildung 49 bis Abbildung 53 im Anhang V. Die stationäre Messstation in *Zürich* befindet sich auf einem Dach in einem urbanen Stadtzentrum. Die gemessenen Medianwerte der elektrischen Feldstärke von 1.14 V/m (RMS) und 6.13 V/m (Peak) sind gegenüber den Routenmessungen mit 0.25 V/m (RMS) und 1.42 V/m (Peak) in urbanen Stadtzentren deutlich erhöht. Die stationäre Messstation in *Allschwil* befindet sich in einem Industriegebiet und die Medianwerte betragen 0.47 V/m (RMS) und 2.64 V/m (Peak) im Vergleich zu 0.30 V/m (RMS) und 1.88 V/m (Peak) in Industriegebieten der Routenmessungen. In einem urbanen zentralen Wohngebiet in *Aarau* wurden an der Dauermessstation 0.63 V/m (RMS) und 4.84 V/m (Peak) gemessen und in *Neuenburg* wurde die mittlere Gesamtfeldstärkewerte 0.36 V/m (RMS) und 1.72 V/m (Peak) registriert. Die Werte aus den Routenmessungen sind für die entsprechende Messumgebung mit 0.20 V/m (RMS) und 1.19 V/m (Peak) ebenfalls kleiner. Die Dauermessstation in *Deitingen* (urbanes dezentrales Wohngebiet) weist Medianwerte von 0.61 V/m (RMS) und 3.65 V/m (Peak) auf, während die Routenmessung für diesen Mikroumgebungstyp 0.16 V/m (RMS) und 0.83 V/m (Peak) ergab. Die grossen Abweichungen zwischen den stationären Messungen und den Routenmessungen könnten einerseits darauf zurückzuführen sein, dass die Exposimeter von Dauermessstationen meist an erhöhten Positionen stehen (z.B. Gebäudedächer) und somit eine uneingeschränkte Sichtverbindung zu den Sendeantennen besteht, als beim Abschreiten auf Fussgängerhöhe bei den Routenmessungen.

Anders als bei den Routenmessungen, welche die Exposition in einer Umgebung repräsentieren, ist die Zusammensetzung der Feldstärke bei den Dauermessungen stark ortsabhängig. Ein Vergleich von Abbildung 35 mit Abbildung 10 und Abbildung 11 der Routenmessungen zeigt, dass aber auch bei den Dauermessungen der RMS-Downlink den grössten Feldstärkebeitrag liefert. Auch die Peak-Gesamtfeldstärken setzen sich bei den stationären Dauermessungen wie bei den Routenmessungen hauptsächlich aus Downlink und TDD-Anteilen zusammen. Alle Dauermessstandorte weisen eine Distanz zu Rundfunksendern von weniger als 10 km auf. In Allschwil beträgt die Distanz zu einem starken Rundfunksender (≥ 2.5 kW) etwa 10 km und in Aarau befindet sich der Rundfunksender (≥ 2.5 kW) in etwa 6 km Distanz zur Dauermessstation. Dies widerspiegelt sich in relativ grossen Rundfunkbeiträgen von 43 % in Allschwil und 30 % in Aarau. Am Standort in Zürich beträgt der Abstand zu einem Rundfunksender mit ≥ 2.5 kW Leistung 1.5 km. Der Beitrag zur RMS-Gesamtfeldstärke beläuft sich dort jedoch nur auf 7 %. Bei der prozentualen Zusammensetzung der Peak-Gesamtfeldstärke fällt der Hohe TDD-Anteil von 52 % in Aarau auf. Dies deutet auf das Vorhandensein einer 5G-Antenne hin.

Je nach Standort sind bei der Aggregation der Feldstärken über die Monate unterschiedliche Trends erkennbar, siehe Abbildung 37 und Abbildung 38. Bei den Dauermessstationen in Deitingen und Zürich ist während der Sommermonate eine Reduktion der elektrischen Feldstärkewerte erkennbar. Beim ETH-Standort dürfte dies mit den Semesterferien zusammenhängen, welche in der Regel von Juni bis Mitte September dauern. In Deitingen befindet sich zwischen der Mobilfunkantenne und der Dauermessstation eine Baumreihe. Ab März nimmt der Belaubungsgrad zu und bleibt von Mai bis September konstant hoch. Ab dem Monat Oktober nimmt der Belaubungsgrad dann wieder ab. Der monatliche Verlauf der Feldstärkewerte in Deitingen zeigt eine ähnliche Saisonalität. Während der Monate mit dichter Belaubung wird das Mobilfunksignal gedämpft. Die Dämpfung ist für hohe Frequenzen grösser. In Neuenburg steigt die Gesamtfeldstärke in den letzten drei Monaten des Jahres 2024 etwas an. Dies ist auf gestiegene Feldstärken bei den Kategorien Downlink&TDD. Das lässt vermuten, dass es in der Umgebung Veränderungen in der Konfiguration des Mobilfunknetzes gab. Am gleichen Standort ist ab

Juli ein sprunghafter Anstieg bei den Rundfunkfeldstärken beobachtbar. Der Anstieg erfolgte am 20. Juni 2024 auf dem DAB-Band und kann der Inbetriebnahme eines Neuen Senders für den DAB-Kanal 12A beim Bahnhof von Neuenburg zugeschrieben werden [18]. Die stationäre Dauermessstation in Aarau weist keine grossen Pegelschwankungen über die Monate auf. In Allschwil gibt es ab dem Monat Mai eine abrupte Veränderung bei den Feldbeiträgen von Rundfunk und Downlink&TDD. Aufgrund der Installation von Solarzellen auf dem Dach des TPH in Allschwil wurde die Messstation um 4 m versetzt. Der Messkoffer hat am neuen Standort die gleiche Ausrichtung wie zuvor, befindet sich nun aber an erhöhter Lage auf einem Dachaufbau weiter in der Mitte des Flachdachs. Die neue Position könnte zu leichten Abschirmungseffekten beim Rundfunk und bei der kombinierten Kategorie Downlink&TDD führen. Auch die Zu- und Abnahme bei den WLAN-Feldstärken ist vermutlich dem neuen Standort zuzuschreiben. In Allschwil befindet sich die Antenne in einem Industriegebiet und deutlich oberhalb der Vegetation. In Aarau liegt die Messstation in einem urbanen zentralen Wohngebiet in der Nähe der kantonalen Verwaltungsgebäude.

In Abbildung 39 ist die prozentuale Zusammensetzung der Mobilfunkfrequenzbänder an der durch den Mobilfunk verursachten RMS-Gesamtfeldstärke bei den Dauermessungen dargestellt. Bei der Station in Neuenburg wird ersichtlich, dass Beiträge aus dem 2100 MHz Band im Verlauf des Jahres 2024 zwischen 52 % und 71 % geschwankt haben. Die Veränderungen erfolgen auf Kosten der Frequenzbereiche bei 1800 MHz, und 800 MHz, deren Beiträge innerhalb des Jahres zwischen 21 % und 29 %, respektive zwischen 2 % und 12 % geschwankt haben. Es liegt hier also lediglich eine Verschiebung und keine Abschaltung vor, da alle Bänder aktiv bleiben. Eine mögliche Erklärung wäre die oben erwähnte Veränderung der Konfiguration des Mobilfunknetzes in der näheren Umgebung. Das 2100 MHz-Band wird vor allem für 4G (LTE) und zum Teil auch für 5G eingesetzt. In Deitingen nehmen die Beiträge des 1800 MHz Bandes über das Jahr sukzessive von 17 % auf 4 % ab. Die Zusammensetzung ändert sich auch bei den Bändern 800 MHz, 2100 MHz und 2600 MHz und liegt zwischen 3 % und 9 %, 62 % und 67 %, respektive zwischen 7 % und 20 %. Die Gründe hierfür lassen sich nicht genau eruieren. In Allschwil steigen die Beiträge des 800 MHz Bandes und des 900 MHz Bandes ab Juni an. Zudem befindet sich die Messstation in der Nähe der Landesgrenze und die Immissionen können auch durch Emissionen aus Frankreich beeinflusst werden, was insbesondere bei den tiefen Frequenzen plausibel ist. Der Anstieg geschieht auf Kosten des 1800-MHz- und des 3500-MHz-Bandes. Bei den übrigen Dauermessstationen schwankt die Zusammensetzung der Beiträge der verschiedenen Mobilfunkbänder nur leicht. Den Frequenzbändern eine Mobilfunktechnologie zuzuordnen ist nicht immer möglich, da die Frequenzbereiche von der ComCom technologieneutral vergeben werden. D.h. es steht den Mobilfunkanbietern (mit Einschränkungen) frei, welche Technologien sie auf welchen Frequenzbändern einsetzen [19]. Die Standortübersichten in Abbildung 49 bis Abbildung 53 im Anhang V zeigen, dass in der Nähe aller Messstandorte 3G, 4G und 5G Mobilfunkdienste betrieben werden.

Abbildung 40 zeigt die Peak-Zusammensetzung der Mobilfunkfrequenzbänder. Aus [19] geht hervor, dass der 2019 versteigerte Frequenzbereich bei 3500 MHz für die 5G Technologie verwendet wird. Verglichen mit den 3500 MHz-Anteilen aus der RMS-Zusammensetzung, weist die Peak-Zusammensetzung wesentlich höhere Prozentsätze auf. Dies hängt damit zusammen, dass die 5G-Technologie einen höheren Crest-Faktor (Peak zu Mittelwert Verhältnis) aufweist als die übrigen Mobilfunktechnologien. Das zeigt sich insbesondere beim Standort in Aarau, wo bis 65 % der Peak-Exposition vom 3.5 GHz-Band stammt. Im Verlauf des Jahres sinkt der 3.5GHz-Anteil aber von 65 % auf 47 % und die

Feldstärkebeiträge des 700 MHz Bandes wachsen stattdessen an. Auch die Dauermessstation in Allschwil hat im 3.5 GHz-Band einen maximalen Peak-Feldstärkebeitrag von 58 % im Monat August. Zu Jahresbeginn und Jahresende betragen die Anteile im 3.5-GHz Band 31 %, respektive 45 %.

Eine Analyse der tageszeitlichen Schwankungen zeigt, dass die Median-Feldstärkewerte während der Nacht stark sinken und im Intervall zwischen vier bis fünf Uhr morgens ein Minimum erreichen und danach bis zur Mittagszeit ansteigen. Bei den meisten Dauermessstationen ist ein sprunghafter Feldstärkeanstieg im Intervall [12:00,13:00) erkennbar. Dies dürfte auf ein erhöhtes Datenaufkommen während der Mittagspause zurückzuführen sein. Der Feldstärkeverlauf am Nachmittag ist bis um 18 Uhr meist konstant oder leicht steigend bei allen Stationen, ausser in Zürich. Dort sinkt die Feldstärke bis um 16 Uhr leicht und danach bis um 20 Uhr stark. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass nach 16 Uhr weniger Besucher auf dem Campusgelände sind und der Anteil an mobilfunknutzenden Bewohnern im Einzugsgebiet des Messstandortes klein ist im Vergleich zur Anzahl der Hochschulangehörigen. Bei den übrigen Dauermessstationen steigen die Median-Feldstärkewerte nach 18 Uhr wieder an und erreichen um 21 oder 22 Uhr ein Maximum. Die Mobilfunknutzenden scheinen dann nochmals einen erhöhten Bedarf an mobiler Kommunikation zu haben. Es wäre aber auch denkbar, dass die Mobiltelefone nach einem Moment der Inaktivität Backups über das Mobilfunknetz auf Server hochladen, was die Maximalwerte zu Beginn der Nachtstunden verursachen könnte.

Ein Vergleich der Feldstärkeverteilungen bei den Dauermessungen der Jahre 2023 und 2024 hat gezeigt, dass sich die Medianwerte der Verteilung meist nicht wesentlich verändert haben. Auch die Verteilungsbreite ist mehrheitlich gleichgeblieben. Dies gilt sowohl für RMS- wie auch für die Peak-Messungen. Bei den Kategorien TDD, Rundfunk und WLAN ist bei den RMS-Messungen eine leichte Zunahme der Medianfeldstärke feststellbar. Auch die Muster der Quellenzusammensetzung bezüglich der Gesamtfeldstärke sind zwischen den beiden Jahren ähnlich geblieben.

4.3 Limitierungen

Um den Effekt der Körperabschirmung bei den Routenmessungen so weit wie möglich zu reduzieren, sind die HF-Exposimeter in einem Rucksack in einem Abstand von 20 cm zum Körper installiert, wobei sich die ExpoM-RFs auf Höhe oberer Rücken befinden. Die tatsächlichen mittleren HF-EMF-Mittelwerte ohne jegliche Körpereinwirkung wurden mit Messungen in der echofreien Kammer ermittelt und ergaben, dass mit diesem Ansatz die tatsächliche Exposition um ca. 10% unterschätzt wird. Dieser Wert wird im Jahresbericht 2021 näher erläutert [2]. Die ExpoM-ELF Geräte werden von Körperabschirmung nicht beeinflusst. Der Vorteil des Mess-Setups liegt darin, dass eine Vielzahl von Daten mit einer hohen räumlichen Auflösung erhoben werden können. Dabei bewegt man sich ähnlich durch die Messumgebungen wie dies die Bevölkerung im Alltag ebenfalls macht.

Die 300 Mikroumgebungen der Routenmessungen wurden grundsätzlich repräsentativ in Bezug auf Sprachregionen, Kantone, Gemeindetypologien und NIS-Immissionen ausgewählt. Urbane Städte wurden jedoch absichtlich stärker beprobt. Damit sind unsere Mikroumgebungen überrepräsentativ, was die Nähe zu Mobilfunkbasisstationen betrifft. Es ist zu erwarten, dass damit die mittlere Exposition von dieser Quelle etwas überschätzt, wird im Vergleich zum Durchschnitt der Schweiz.

Die Wiederholungsmessungen in den 150 Mikroumgebungen und 95 öffentlichen Bereichen wurden 2024 an den gleichen Orten durchgeführt wie 2022. Es wurde zur selben Tageszeit (± 1 Stunde) und am selben Wochentag (± 1 Kalenderwoche) gemessen. Auch wenn die Messungen von der gleichen Person durchgeführt wurden, waren kleinere Abweichungen bei den gewählten Routen/Pfaden oder in der Geschwindigkeit der Messdurchführung unvermeidlich. Dies ist anhand der leicht unterschiedlichen Anzahl von Messwerten pro Mikroumgebung oder pro öffentlichen Bereich ersichtlich. Insgesamt ist aber zu erwarten, dass diese kleinen Abweichungen keinen systematischen Einfluss auf die Höhe der Messwerte haben und höchstens die zufällige Variation etwas erhöht haben. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln ist zu beachten, dass zwar grundsätzlich bei den beiden Messkampagnen die gleichen An- und Abreisen zu den Messumgebungen gemacht wurden. Dennoch waren einige Abweichungen, z.B. fahrplanbedingt, unvermeidlich. Die Protokollierung der Auslastung der Verkehrsmittel ergab, dass die Messungen 2024 häufiger in stark frequentierten öffentlichen Verkehrsmitteln durchgeführt wurden als im Jahr 2022, wo die Auslastung aufgrund der Pandemie noch etwas geringer war. Damit lässt sich zumindest einen Teil der beobachteten HF-EMF Expositionszunahme in öffentlichen Verkehrsmitteln erklären.

Wie oben erläutert, beinhaltet das TDD-Band sowohl Immissionen von Mobilfunkbasisstationen wie auch von Mobilfunkgeräten. Die entsprechende Kommunikation erfolgt zeitversetzt (Time Division Duplex) im gleichen Frequenzband. Das gewählte Messverfahren erlaubt keine Unterscheidung nach Emissionsquellen. Dies wäre grundsätzlich nützlich, da argumentiert wird, dass die Emissionen vom (eigenen) Mobilfunkgerät freiwillig sind, während sie von Mobilfunkbasisstationen unfreiwillig ist. Dieses Konzept ist jedoch bei adaptiven 5G-Basisstationen zunehmend fraglich. Adaptive Antennen lenken ihren Strahl prioritär in die Richtung grosser Datennachfrage. Velghe et al. [20] haben daher den Begriff von auto-induzierter Exposition eingeführt, wenn Mobilfunknutzende durch ihre Nutzung die Immissionen von Mobilfunkbasisstation an ihrem Aufenthaltsort erhöhen. Zukünftige Messstudien sollten deshalb klären, welche Anteile des TDD von Mobilfunkgeräten stammt und welche Anteile von Mobilfunkbasisstationen und wie viel davon autoinduziert ist. Grob geschätzt kann davon ausgegangen werden, dass zurzeit die Anteile von Mobiltelefonen und Basisstationen ähnlich sind wie die gemessenen Up- und Downlinkanteile in den jeweiligen Messumgebungen. Das bedeutet, dass in öffentlichen

Verkehrsmitteln ein grosser Teil des TDDs von Mobilfunkgeräten stammt, während bei den Mikroumgebungsmessungen draussen der Hauptanteil von Mobilfunkbasisstationen stammt. Es ist unklar, ob diese grobe Faustregel auch in Zukunft noch anwendbar ist, falls der Anteil von TDD deutlich steigt und die Up- und Downlinkanteile kleiner werden.

Die HF-EMF-Werte bei den Expositionsmessungen stellen ein Basisniveau dar, dem die Schweizer Bevölkerung durch körperferne Quelle dauerhaft ausgesetzt ist, wenn sie kein Mobilfunkgerät benutzen, wie dies bei der Durchführung der Messung der Fall ist. Diese Werte spiegeln jedoch nicht die gesamte Exposition der Bevölkerung wider, welche persönliche drahtlose Geräte verwendet. Einerseits werden die oben erwähnte auto-induzierten Immissionen von Basisstationen nicht erfasst, welche wahrscheinlich mit zunehmendem Ausbau des 5G-Mobilfunknetzes zunehmend relevant werden. Andererseits ist zu beachten, dass in diesem Monitoring keine Emissionsmessungen direkt an der Quelle (z.B. beim Mobilfunktelefon) gemacht wurden. Die absorbierte HF-EMF Exposition bei der Nutzung von Mobilfunkgeräten direkt am Körper ist deutlich höher als die in dieser Studie dokumentierten Werte für Uplink bzw. TDD [21], weil keine Mobiltelefone direkt an den Messgeräten betrieben werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die gemessenen Werte deutlich unter den Immissionsgrenzwerten liegen, welche in Bezug auf die gesundheitlichen Wirkungen massgebend sind. Insgesamt wird das Verständnis zur NIS- Exposition im Alltag mit diesen und den zukünftig zu erwarteten Resultaten deutlich verbessert.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Umwelt, "Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung," 2022. [Online]. Available: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2000/38/de>.
- [2] SwissNIS, "Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung - Jahresbericht 2021 - Projektkonsortium SwissNIS," Federal Office for the Environment (FOEN), 2022. Accessed: 5 Jun 2023. [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/elektrosmog-belastung/nis-expositionsmessungen.html>
- [3] Joint Committee for Guides in Metrology, "Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement " JCGM, 2008. [Online]. Available: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6.
- [4] M. Eeftens, S. Dongus, A. Burgler, M. Roosli, and A. team, "A real-world quality assessment study in six ExpoM-RF measurement devices," *Environ Res*, vol. 182, p. 109049, Mar 2020, doi: 10.1016/j.envres.2019.109049.
- [5] Bundesamt für Statistik, "Gemeindetypologie und Stadt/Land-Typologie," 2012. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/nomenklaturen/gemtyp.html>.
- [6] SwissNIS, "Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung - Jahresbericht 2022 - Projektkonsortium SwissNIS," Federal Office for the Environment (FOEN), 2023. [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/elektrosmog-belastung/nis-expositionsmessungen.html>
- [7] Bundesamt für Umwelt. "Forschung zu Auswirkungen von NIS auf Gesundheit und Umwelt - Auswirkungen der Immissionen von Mobilfunkbasisstationen und Radiosendern auf das Befinden, Verhalten und kognitive Fähigkeiten von Jugendlichen: prospektive Kohortenstudie mit eingebetteter Panelstudie." <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/fachinformationen/forschung.html#-224531633> (accessed 2023).
- [8] M. Eeftens, B. Struchen, K. Roser, M. Zahner, J. Frohlich, and M. Roosli, "Dealing with crosstalk in electromagnetic field measurements of portable devices," *Bioelectromagnetics*, vol. 39, no. 7, pp. 529-538, Oct 2018, doi: 10.1002/bem.22142.
- [9] H. Jalilian, M. Eeftens, M. Ziaei, and M. Roosli, "Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe," *Environ Res*, vol. 176, p. 108517, Sep 2019, doi: 10.1016/j.envres.2019.05.048.
- [10] S. Sagar *et al.*, "Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review," *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 28, no. 2, pp. 147-160, Mar 2018, doi: 10.1038/jes.2017.13.
- [11] M. Velghe, W. Joseph, S. Debouvere, R. Aminzadeh, L. Martens, and A. Thielens, "Characterisation of spatial and temporal variability of RF-EMF exposure levels in urban environments in Flanders, Belgium," *Environ Res*, vol. 175, pp. 351-366, Aug 2019, doi: 10.1016/j.envres.2019.05.027.
- [12] C. Schmutz *et al.*, "Personal radiofrequency electromagnetic field exposure of adolescents in the Greater London area in the SCAMP cohort and the association with restrictions on permitted use of mobile communication technologies at school and at home," *Environ Res*, vol. 212, no. Pt B, p. 113252, Sep 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.113252.
- [13] A. F. Veludo *et al.*, "Assessing radiofrequency electromagnetic field exposure in multiple microenvironments across ten European countries with a focus on 5G," *Environ Int*, vol. 200, p. 109540, May 20 2025, doi: 10.1016/j.envint.2025.109540.

- [14] L. van Wel, R. Vermeulen, M. van Eijdsen, T. Vrijkotte, H. Kromhout, and A. Huss, "Radiofrequency exposure levels in Amsterdam schools," *Bioelectromagnetics*, vol. 38, no. 5, pp. 397-400, Jul 2017, doi: 10.1002/bem.22053.
- [15] M. Gallastegi *et al.*, "Exposure to extremely low and intermediate-frequency magnetic and electric fields among children from the INMA-Gipuzkoa cohort," (in English), *Environmental Research*, vol. 157, pp. 190-197, Aug 2017, doi: 10.1016/j.envres.2017.05.027.
- [16] B. Struchen, I. Liorni, M. Parazzini, S. Gangler, P. Ravazzani, and M. Roosli, "Analysis of personal and bedroom exposure to ELF-MFs in children in Italy and Switzerland," *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 26, no. 6, pp. 586-596, Nov 2016, doi: 10.1038/jes.2015.80.
- [17] A. Reichenbach, "Elektrosmog in der Umwelt," *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL*, 2005. [Online]. Available: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/elektrosmog/publikationen-studien/publikationen/elektrosmog-in-der-umwelt.html>.
- [18] "DAB+: Inbetriebnahme neuer Sender: 20.06.2024 - Neuchâtel Gare (NE)." <https://www.broadcast.ch/de/news/dab-inbetriebnahme-neuer-sender-20062024-neuchatelgare-> (accessed 27.05.2025).
- [19] Bundesamt für Kommunikation BAKOM. "Mobilfunkfrequenzen für 5G in der Schweiz vergeben." <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/frequenzen-antennen/vergabe-der-mobilfunkfrequenzen/mobilfunkfrequenzen-5G-vergeben.html> (accessed 18.07, 2025).
- [20] M. Velghe, S. Aerts, L. Martens, W. Joseph, and A. Thielens, "Protocol for personal RF-EMF exposure measurement studies in 5th generation telecommunication networks," (in English), *Environ Health-Glob*, vol. 20, no. 1, Apr 1 2021, doi: 10.1186/s12940-021-00719-w.
- [21] L. van Wel *et al.*, "Radio-frequency electromagnetic field exposure and contribution of sources in the general population: an organ-specific integrative exposure assessment," *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 31, no. 6, pp. 999-1007, Nov 2021, doi: 10.1038/s41370-021-00287-8.

6. Datenquellen

Tabelle 9: Für die Planung der Messstrecken und Messstandorte verwendete Datensätze mit deren Bezugsquellen und Lizenz.

Informationen	Quelle	Lizenz
Standorte Mobilfunkantennen	geo.admin.ch	Öffentlich
Standorte Rundfunksender	geo.admin.ch	Öffentlich
Koordinaten Hochspannungsleitungen	- Swissgrid AG - Axpo Grid AG - Primeo Energie - Groupe E SA - openinframap.org	Mit Datennutzungsvereinbarung oder öffentlich
Koordinaten Eisenbahnlinien	geo.admin.ch (SwissTLM3D)	Öffentlich
Gemeindetypologie BFS	BFS-Atlas	Öffentlich
Gemeindetypologie ARE	geo.admin.ch	Öffentlich
Bauzonen	geo.admin.ch	Öffentlich
Landschaftstypologie	geo.admin.ch	Öffentlich
Gemeindegrenzen	geo.admin.ch	Öffentlich
CORINE Land Cover	wsl.ch	Öffentlich
Gebäude- und Wohnungsregister (GWS) (enthält Informationen zur Bevölkerung)	BFS	Datennutzungsvertrag
Gebäude- und Wohnungsstatistiken (GWS)	BFS	Datennutzungsvertrag

Anhang

I Glossar

Tabelle 10: Glossar

Bezeichnung	Beschreibung
AC	Alternating Current: Wechselstrom
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
DAB	Digital Audio Broadcasting: digitaler Übertragungsstandard für Hörfunk.
DC	Direct Current: Gleichstrom
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications: Standard für Funkkommunikation, hauptsächlich für Schnurlostelefone eingesetzt.
DL	Downlink: Datenfluss von der Mobilfunkantenne zum Mobiltelefon
ELF	Extremely low Frequency: Frequenzbereich von 3-30 Hz (gem. Definition der Internationalen Fernmeldeunion). Im vorliegenden Bericht wird der Begriff stellvertretend für alle Frequenzen unterhalb von 100 kHz verwendet.
EMF	Electromagnetic Field: Sammelbegriff für elektromagnetische Felder und Wechselwirkungen davon.
FFT	Fast Fourier Transform: Sammelbegriff für mathematische Verfahren zur Signalkonversion zwischen Zeit- und Frequenzraum.
FM	Frequenzmodulation: Verfahren zum Aufbringen eines Nutzsignals auf ein Trägersignal mittels Veränderungen der Frequenz des Trägersignals.
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Global Positioning System: Satellitenbasierter Standortbestimmungsdienst
HF	Hochfrequenz, im vorliegenden Bericht als Synonym zu RF verwendet.
IQR	Interquartile Range: Interquartilsbereich (.75 Percentile – .25 Percentile)
IGW	Immissionsgrenzwert
ISM	Industrial, Scientific and Medical band: Lizenzfreie Frequenzbereiche, welche für eine Vielzahl technischer Geräte genutzt werden (z.B. Bluetooth, WiFi, Mikrowellenofen).
ME	Micro Environment / Mikroumgebung
MySQL	Datenbankverwaltungssystem von Oracle
NF	Niederfrequenz, im vorliegenden Bericht als Synonym zu ELF verwendet.
NIS	Nichtionisierende Strahlung
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PAM/PAMR	Professional mobile radio: Funkkommunikationssysteme
Peak	Spitzenwert (Maximum)
Polycom	Schweizer Funknetzwerk auf Basis von Tetrapol, offizielles nationales Funksystem der Behörden für Polizei, Rettungsdienste usw.
R	Freie Programmiersprache für Statistikanwendungen
RF	Radio frequency: nicht eindeutig definierter Frequenzbereich (hauptsächlich) im MHz- und GHz-Bereich, der für die meisten Kommunikationstechnologien genutzt wird.
RMS	root mean square: mathematischer Effektivwert für die Feldstärke von Wechselfeldern.
TDD	Time-division duplexing: Übertragungsverfahren, bei dem der Datenfluss zwischen zwei Geräten (z.B. Mobiltelefon und Mobilfunkantenne) in beide Richtungen (Up- und Downlink) zeitversetzt mit der gleichen Frequenz erfolgt.
Tetrapol	Digitales Funksystem, welches für das Anwendungsgebiet öffentliche Sicherheit entwickelt wurde.

Bezeichnung	Beschreibung
TV	Television: Fernsehdienste
UL	Uplink: Datenfluss vom Mobiltelefon zur Mobilfunkantenne
WiFi	Firmenkonsortium für die Zertifizierung von WLAN-Geräten, im allgemeinen Sprachgebrauch als Synonym für WLAN verwendet.
WLAN	Wireless Local Area Network: lokale drahtlose Netzwerke

II Liste der Standortgemeinden von Mikroumgebungen

Tabelle 11: Liste der Standortgemeinden 2024 mit der gesamten Anzahl Mikroumgebungen pro Gemeinde und aufgeteilt nach Mikroumgebungstyp.

Gemeinde	Kanton	Industriegebiet	Stadtzentrum	urbanes zentrales Wohngebiet	urbanes dezentrales Wohngebiet	suburbanes Stadtzentrum	suburbanes Wohngebiet	Dorfzentrum	ländliches Wohngebiet	landwirtschaftliches Gebiet*	Sport-/Freizeitgebiet	Naturgebiet	Total
Allschwil	BL	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Appenzell	AI	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Arisdorf	BL	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Avenches	VD	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Basel	BS	0	1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	7
Belp	BE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Bern	BE	2	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	8
Bettingen	BE	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Bourg-en-Lavaux	BS	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
Bowil	BE	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
Buttisholz	LU	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Châtillon	JU	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Cheseaux-Noréaz	VD	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
Chur	GR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Deitingen	SO	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Delémont	JU	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
Disentis	GR	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Dulliken	SO	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3
Erstfeld	UR	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Ettiswil	LU	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Felben	TG	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Frauenfeld	TG	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
Freienbach	SZ	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Fribourg	FR	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	4
Genève	GE	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	5
Gerlafingen	SO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Glarus	GL	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Gonten	AI	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Grolley	FR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Gemeinde	Kanton	Industriegebiet	Stadtzentrum	urbanes zentrales Wohngebiet	urbanes dezentrales Wohngebiet	suburbanes Stadtzentrum	suburbanes Wohngebiet	Dorfzentrum	ländliches Wohngebiet	landwirtschaftliches Gebiet*	Sport-/Freizeitgebiet	Naturgebiet	Total
Herisau	AR	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Kehrsatz	BE	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Landquart	GR	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Langnau	BE	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
Lausanne	VD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Liestal	BL	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	4
Luzern	LU	0	1	1	2	0	0	0	0	0	1	0	5
Marly	FR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Neuhausen am Rheinflall	SH	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	4
Niedergösgen	SO	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Pully	VD	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Rossemaison	JU	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
Rüte	AI	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Schaffhausen	SH	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Schwyz	SZ	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Selzach	SO	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Solothurn	SO	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
St. Gallen	SG	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	6
Unterbäch	VS	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Visp	VS	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Vully-les-Lacs	VD	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Walchwil	ZG	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Winterthur	ZH	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	5
Wohlen	BE	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Yverdon	VD	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
Zermatt	VS	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Zerne	GR	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Total		14	10	10	18	21	29	16	16	9	4	3	150

Messumgebungen in öffentlichen Bereichen

Tabelle 12: Liste der Standortgemeinden 2024 mit der gesamten Anzahl Messumgebungstyp pro Gemeinde und aufgeteilt nach Messumgebungstyp, bzw. öffentlichen Bereichen.

Gemeinde	Kanton	Bahnhof	Tramhaltestelle	Bushaltestelle	ETH/UNI/FH	Supermarkt	Restaurant	Bibliothek	Total
Allschwil	BL	0	0	0	0	0	1	0	1
Appenzell	AI	1	0	0	0	0	1	0	2
Arisdorf	BL	0	0	0	0	0	1	0	1
Basel	BS	1	3	0	0	0	0	0	4
Belp	BE	1	0	0	0	0	1	0	2
Bern	BE	5	2	0	0	0	0	0	7
Bourg-en-Lavaux	VD	1	0	0	0	0	0	0	1
Bowil	BE	1	0	0	0	0	1	0	2
Chur	GR	0	0	1	3	0	0	0	4
Delémont	JU	0	0	0	0	1	2	0	3
Disentis	GR	1	0	0	0	1	0	0	2
Erstfeld	UR	0	0	0	0	1	0	0	1
Ettiswil	LU	0	0	1	0	0	0	0	1
Frauenfeld	TG	0	0	0	0	1	2	0	3
Freienbach	SZ	0	0	1	0	0	0	0	1
Fribourg	FR	0	0	3	0	0	1	0	4
Genève	GE	4	2	0	0	0	1	1	8
Glarus	GL	1	0	0	0	1	0	0	2
Grolley	FR	1	0	0	0	0	0	0	1
Landquart	GR	0	0	0	0	1	0	0	1
Langnau	BE	1	0	0	0	0	0	0	1
Lausanne	VD	1	0	1	0	0	1	0	3
Liestal	BL	1	0	2	0	1	0	0	4
Luzern	LU	0	0	2	0	0	0	0	2
Neuhausen am Rheinfall	SH	0	0	1	0	0	0	0	1
Niedergösgen	SO	0	0	0	0	0	0	0	0
Olten	SO	0	0	0	3	0	0	0	3
Riehen	BS	0	0	2	0	0	0	0	2
Rüte	AI	0	0	0	0	1	0	0	1
Schaffhausen	SH	0	0	1	0	0	1	0	2
Schwyz	SZ	0	0	2	0	0	1	0	3
Solothurn	SO	2	0	0	0	1	1	0	4
St. Gallen	SG	1	0	2	0	0	1	0	4
Visp	VS	1	0	0	0	0	0	0	1
Winterthur	ZH	1	0	2	0	1	0	0	4
Wohlen bei Bern	BE	0	0	1	0	1	1	0	3
Yverdon	VD	1	0	0	0	0	1	0	2
		26	7	22	6	11	18	1	91

III Statistische Kenngrössen der Routenmessungen

3.1.1.1 Vergleich der Messumgebungen - HF-Exposition

Tabelle 13: Statistische Kenngrössen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2273	0.03	0.09	0.18	0.30	0.46	0.82	1.77
	Stadtzentrum	10	1733	0.04	0.07	0.15	0.25	0.39	0.78	2.64
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1592	0.02	0.05	0.12	0.20	0.35	0.63	3.60
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1463	0.02	0.04	0.10	0.18	0.49	1.58	2.78
	Sport-/Freizeitgebiet	4	635	0.06	0.09	0.13	0.17	0.22	0.44	0.96
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2967	0.02	0.04	0.10	0.16	0.27	0.50	2.15
	suburbanes Stadtzentrum	21	3423	0.02	0.05	0.10	0.15	0.24	0.48	1.83
	suburbanes Wohngebiet	29	4740	0.02	0.03	0.07	0.14	0.24	0.51	1.48
	ländliches Wohngebiet	16	2615	0.02	0.03	0.06	0.11	0.20	0.48	2.25
	Dorfzentrum	3	2567	0.02	0.03	0.04	0.08	0.14	0.31	0.91
	Naturgebiet	16	459	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.26	0.56
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	7	712	0.07	0.12	0.22	0.38	0.51	0.75	1.89
	Bahnhof	26	2481	0.02	0.08	0.21	0.34	0.63	1.12	5.25
	Bushaltestelle	22	2117	0.02	0.12	0.21	0.32	0.48	1.09	9.90
	ETH/UNI/FH	6	762	0.02	0.03	0.11	0.32	0.57	0.96	1.58
	Restaurant	18	2461	0.02	0.04	0.08	0.19	0.32	0.52	2.23
	Schule	17	2466	0.01	0.02	0.05	0.09	0.20	0.41	1.24
	Supermarkt	11	1226	0.02	0.03	0.05	0.07	0.11	0.27	0.97
	Bibliothek	1	174	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.32
	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Verkehrsmittel	Zug	89	22666	0.01	0.06	0.18	0.30	0.44	0.73	2.90
	Tram	10	1191	0.05	0.13	0.21	0.28	0.38	0.62	1.73
	Bus	55	5819	0.02	0.06	0.13	0.21	0.33	0.64	2.85
	Metro	1	60	0.09	0.10	0.13	0.20	0.25	0.43	0.51
	Seilbahn	2	126	0.03	0.05	0.08	0.17	0.27	0.98	2.80
	Auto	24	12918	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.49	2.56

Tabelle 14: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS). RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2273	0.43	82.5	0.1	8.5	8.4	0.2	0.2
	Stadtzentrum	10	1733	0.41	93.2	0.3	3.2	2.4	0.8	0.1
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1592	0.37	92.5	0.4	2.2	4.3	0.5	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1463	0.65	3.9	0.0	0.1	96.0	0.0	0.0
	Sport-/Freizeitgebiet	4	635	0.23	76.9	0.1	1.4	21.4	0.2	0.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2967	0.26	69.0	0.1	5.0	25.2	0.5	0.2
	suburbanes Stadtzentrum	21	3423	0.24	81.1	0.1	5.0	12.8	0.9	0.1
	suburbanes Wohngebiet	29	4740	0.24	59.8	0.1	3.2	36.4	0.4	0.1
	ländliches Wohngebiet	16	2615	0.23	76.7	0.1	4.1	18.9	0.2	0.0
	Naturgebiet	3	459	0.13	44.0	2.2	5.4	47.2	1.1	0.0
	Dorfzentrum	16	2567	0.15	49.5	0.3	1.9	47.1	0.7	0.5
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Tramhaltestelle	7	712	0.45	81.4	0.4	11.8	4.1	1.8	0.6
	Bahnhof	26	2481	0.65	80.7	1.4	13.1	3.1	0.6	1.1
	Bushaltestelle	22	2117	0.62	86.6	0.2	1.4	11.0	0.3	0.5
	ETH/UNI/FH	6	762	0.47	82.5	0.7	9.6	4.3	1.5	1.4
	Restaurant	18	2461	0.28	84.7	3.8	0.8	1.6	7.9	1.2
	Schule	17	2466	0.20	65.1	2.2	1.3	17.7	13.3	0.3
	Supermarkt	11	1226	0.14	60.9	5.0	1.7	6.7	11.9	13.8
	Bibliothek	1	174	0.06	15.4	5.8	1.9	46.7	30.2	0.1
	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Verkehrsmittel	Zug	89	22666	0.40	27.7	38.7	20.5	2.1	10.8	0.1
	Tram	10	1191	0.36	54.0	14.6	17.5	7.5	6.3	0.1
	Bus	55	5819	0.34	56.2	6.8	15.7	16.8	4.4	0.1
	Metro	1	60	0.24	20.2	44.6	23.7	1.3	10.1	0.0
	Seilbahn	2	126	0.47	6.1	91.8	0.5	0.4	1.1	0.0
	Auto	24	12918	0.24	81.7	5.7	3.5	7.7	1.3	0.2

Tabelle 15: Statistische Kenngrössen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2273	0.13	0.43	1.08	1.88	3.20	5.56	10.95
	Stadtzentrum	10	1733	0.11	0.32	0.77	1.42	2.36	5.03	14.44
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1591	0.10	0.24	0.64	1.19	2.05	3.85	14.71
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1464	0.09	0.16	0.38	0.92	2.06	6.95	13.05
	suburbanes Stadtzentrum	21	3427	0.09	0.20	0.48	0.83	1.46	3.27	14.28
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2964	0.07	0.14	0.45	0.83	1.54	3.01	8.77
	Sport-/Freizeitgebiet	4	633	0.28	0.40	0.58	0.76	1.21	2.88	5.51
	suburbanes Wohngebiet	29	4739	0.05	0.11	0.30	0.63	1.26	3.22	8.79
	ländliches Wohngebiet	16	2615	0.07	0.11	0.24	0.49	1.23	3.13	9.97
	Dorfzentrum	16	2564	0.06	0.10	0.18	0.34	0.66	1.80	5.33
	Naturgebiet	3	459	0.08	0.12	0.18	0.26	0.64	1.74	3.49
Öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	7	714	0.43	0.70	1.35	2.18	2.84	4.04	8.07
	Bahnhof	26	2484	0.17	0.28	0.93	1.98	3.97	7.38	41.28
	Bushaltestelle	22	2117	0.10	0.49	1.13	1.80	3.03	5.88	38.20
	ETH/UNI/FH	6	762	0.08	0.17	0.68	1.79	3.27	5.11	10.84
	Restaurant	18	2464	0.08	0.22	0.60	1.29	1.99	3.11	7.33
	Schule	17	2466	0.07	0.11	0.27	0.51	1.19	2.70	14.71
	Supermarkt	11	1226	0.07	0.13	0.30	0.50	0.93	1.85	6.00
	Bibliothek	1	173	0.09	0.11	0.13	0.16	0.28	0.58	1.79
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	89	22667	0.07	0.37	1.23	2.08	3.13	5.48	46.55
	Tram	10	1190	0.25	0.68	1.38	2.00	2.73	4.14	9.57
	Bus	55	5821	0.09	0.31	0.76	1.34	2.34	4.45	19.91
	Seilbahn	1	126	0.16	0.27	0.59	1.19	2.26	3.47	8.25
	Metro	2	61	0.39	0.59	0.92	1.16	1.72	3.03	7.52
	Auto	24	12919	0.02	0.10	0.28	0.58	1.32	3.43	14.11

Tabelle 16: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak). RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2273	2.80	68.9	0.0	28.4	2.3	0.2	0.1
	Stadtzentrum	10	1733	2.54	81.1	0.2	17.0	0.5	1.1	0.0
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1591	2.03	84.0	0.1	13.5	1.7	0.5	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1464	2.83	7.8	0.0	1.1	91.0	0.1	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	21	3427	1.59	74.4	0.2	21.3	2.9	1.1	0.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2964	1.51	72.9	0.1	16.7	9.7	0.5	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	4	633	1.33	87.3	0.1	5.4	6.8	0.4	0.0
	suburbanes Wohngebiet	29	4739	1.48	64.3	0.1	22.1	13.1	0.4	0.0
	ländliches Wohngebiet	16	2615	1.48	67.7	0.0	27.7	4.2	0.3	0.0
	Dorfzentrum	16	2564	0.83	69.3	0.2	9.3	19.6	1.5	0.1
	Naturgebiet	3	459	0.74	58.4	1.1	26.8	10.2	3.5	0.0
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Tramhaltestelle	7	714	2.46	67.6	0.6	29.6	0.6	1.4	0.3
	Bahnhof	26	2484	4.24	59.9	1.1	37.6	0.4	0.8	0.2
	Bushaltestelle	22	2117	3.44	85.9	0.4	10.7	2.5	0.3	0.2
	ETH/UNI/FH	6	762	2.73	77.9	0.9	17.5	2.1	1.3	0.4
	Restaurant	18	2464	1.72	65.9	5.9	3.1	0.2	22.8	2.1
	Schule	17	2466	1.33	50.9	0.8	4.3	5.9	37.5	0.5
	Supermarkt	11	1226	0.93	37.5	3.3	4.5	1.4	41.6	11.8
	Bibliothek	1	173	0.31	13.6	13.3	3.0	7.3	62.7	0.1
	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Verkehrsmittel	Zug	89	22667	3.00	14.9	25.9	48.9	0.6	9.7	0.0
	Tram	10	1190	2.43	33.4	15.4	44.3	1.5	5.4	0.1
	Bus	55	5821	2.26	44.7	6.2	42.4	2.6	4.1	0.0
	Seilbahn	1	126	1.97	19.0	46.4	24.8	0.1	9.6	0.0
	Metro	2	61	1.79	7.3	40.8	38.5	0.2	13.3	0.0
	Auto	24	12919	1.60	72.6	5.0	18.6	2.8	0.9	0.1

Tabelle 17: Bereich der mittleren Belastung der RMS HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert des RMS-Werts wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum und Maximum zeigen jeweils den tiefsten und höchsten RMS-Werts pro einzelne Messumgebung. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
Mikroumgebungen	landwirtschaftliches Gebiet*	9	0.10	0.46	1.35
	Stadtzentrum	10	0.23	0.40	0.58
	Industriegebiet	14	0.16	0.39	0.74
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	0.18	0.34	0.64
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	0.04	0.24	0.40
	suburbanes Stadtzentrum	21	0.08	0.23	0.41
	Sport-/Freizeitgebiet	4	0.15	0.22	0.34
	suburbanes Wohngebiet	29	0.04	0.22	0.49
	ländliches Wohngebiet	16	0.04	0.20	0.48
	Dorfzentrum	16	0.04	0.13	0.28
	Naturgebiet	3	0.10	0.13	0.17
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Bahnhof	26	0.07	0.56	1.49
	Bushaltestelle	22	0.16	0.49	1.58
	Tramhaltestelle	7	0.15	0.42	0.61
	ETH/UNI/FH	6	0.06	0.38	0.72
	Restaurant	18	0.05	0.23	0.49
	Schule	17	0.04	0.16	0.42
	Supermarkt	11	0.05	0.12	0.32
	Bibliothek	1	0.06	0.06	0.06
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Seilbahn	2	0.22	0.42	0.62
	Zug	89	0.06	0.37	0.72
	Tram	10	0.24	0.35	0.50
	Bus	55	0.11	0.33	0.96
	Auto	24	0.10	0.24	0.38
	Metro	1	0.24	0.24	0.24

Tabelle 18: Bereich der mittleren Belastung der Peak HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum und Maximum zeigen jeweils den tiefsten und höchsten Effektiv-Mittelwert pro einzelne Messumgebung. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	0.80	2.62	4.31
	Stadtzentrum	10	1.33	2.46	3.76
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	0.32	2.04	5.93
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	0.98	1.98	2.91
	suburbanes Stadtzentrum	21	0.38	1.49	2.68
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	0.14	1.40	2.24
	suburbanes Wohngebiet	29	0.16	1.27	3.24
	Sport-/Freizeitgebiet	4	0.69	1.20	2.06
	ländliches Wohngebiet	16	0.18	1.18	3.46
	Dorfzentrum	16	0.12	0.72	1.75
	Naturgebiet	3	0.29	0.61	1.21
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Bahnhof	26	0.25	3.57	9.26
	Bushaltestelle	22	0.60	2.66	8.04
	Tramhaltestelle	7	1.06	2.33	3.05
	ETH/UNI/FH	6	0.35	2.24	4.07
	Restaurant	18	0.25	1.45	3.41
	Schule	17	0.24	1.11	2.84
	Supermarkt	11	0.49	0.84	1.87
	Bibliothek	1	0.31	0.31	0.31
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Zug	89	0.38	2.76	7.61
	Tram	10	1.50	2.36	3.09
	Bus	55	0.93	2.18	5.80
	Seilbahn	2	1.76	1.96	2.17
	Metro	1	1.79	1.79	1.79
	Auto	24	0.39	1.55	2.41

3.1.1.2 Vergleich der Messumgebungen - NF-Exposition

Tabelle 19: Statistische Kenngrößen (in μT) der gesamten NF-MF-Exposition. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Stadtzentrum	10	1728	0.02	0.04	0.11	0.19	0.32	0.63	22.72
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1587	0.02	0.04	0.10	0.17	0.28	0.60	1.66
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2956	0.01	0.03	0.08	0.15	0.26	0.56	2.08
	Industriegebiet	14	2270	0.01	0.02	0.06	0.14	0.31	1.39	4.57
	suburbanes Stadtzentrum	21	3419	0.02	0.03	0.07	0.13	0.24	0.51	9.69
	Dorfzentrum	16	2563	0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.59	2.81
	suburbanes Wohngebiet	29	4727	0.02	0.02	0.05	0.10	0.19	0.42	2.09
	ländliches Wohngebiet	16	2607	0.01	0.02	0.04	0.09	0.18	0.33	0.85
	Naturgebiet	3	458	0.01	0.02	0.02	0.05	0.12	0.35	4.11
	landwirtschaftliches Gebiet	9	1461	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.19	1.46
	Sport-/Freizeitgebiet	4	633	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.20	0.68
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Bahnhof	26	2478	0.02	0.04	0.11	0.39	1.01	2.76	18.31
	Tramhaltestelle	7	711	0.03	0.08	0.13	0.24	0.42	0.69	1.52
	ETH/UNI/FH	6	760	0.01	0.02	0.05	0.18	0.46	0.81	1.85
	Bushaltestelle	22	2113	0.01	0.04	0.08	0.15	0.25	0.52	1.78
	Restaurant	18	2460	0.02	0.02	0.03	0.06	0.13	0.36	2.54
	Supermarkt	11	1223	0.02	0.02	0.03	0.05	0.07	0.14	0.39
	Schule	13	1855	0.01	0.02	0.02	0.04	0.08	0.17	0.35
	Bibliothek	1	173	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.16	0.28
	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Verkehrsmittel	Zug	89	22624	0.01	0.06	0.19	0.44	1.20	6.34	37.93
	Tram	10	1188	0.03	0.07	0.14	0.22	0.35	1.04	14.74
	Auto	16	16195	0.01	0.03	0.05	0.09	0.18	0.39	11.35
	Bus	55	5804	0.01	0.02	0.05	0.08	0.17	0.46	3.97
	Metro	1	60	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.31	0.69
	Seilbahn	2	126	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.07

Tabelle 20: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen NF-Quellen (Eisenbahnstrom, Stromversorgung, Tram-Rippelstrom) der gesamten NF-MF-Exposition. RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (6). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp

	Messumgebung	N	n	RMS (μ T)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
Mikroumgebungen	Stadtzentrum	10	1728	0.63	1.8	96.7	1.6
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1587	0.31	2.9	92.3	4.9
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2956	0.28	15.4	83.9	0.7
	Industriegebiet	14	2270	0.61	49.1	50.9	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	21	3419	0.31	53.8	46.1	0.1
	Dorfzentrum	16	2563	0.29	39.6	60.3	0.0
	suburbanes Wohngebiet	29	4727	0.22	8.1	91.9	0.1
	ländliches Wohngebiet	16	2607	0.17	21.3	78.5	0.1
	Naturgebiet	3	458	0.30	95.5	4.5	0.0
	landwirtschaftliches Gebiet	9	1461	0.09	12.7	86.9	0.5
	Sport-/Freizeitgebiet	4	633	0.08	16.6	82.9	0.6
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (μ T)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
	Bahnhof	26	2478	1.42	99.6	0.4	0.0
	Tramhaltestelle	7	711	0.37	17.0	32.2	50.8
	ETH/UNI/FH	6	760	0.41	98.6	1.4	0.0
	Bushaltestelle	22	2113	0.27	50.4	47.3	2.3
	Restaurant	18	2460	0.20	24.5	75.4	0.1
	Supermarkt	11	1223	0.08	18.0	81.3	0.7
	Schule	13	1855	0.08	75.0	24.4	0.6
	Bibliothek	1	173	0.06	4.9	94.0	1.1
	Messumgebung	N	n	RMS (μ T)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
Verkehrsmittel	Zug	89	22624	3.29	99.7	0.3	0.0
	Tram	10	1188	1.09	64.0	29.2	6.7
	Auto	16	16195	0.28	85.4	14.3	0.3
	Bus	55	5804	0.24	69.8	28.2	2.0
	Metro	1	60	0.15	66.7	27.4	5.9
	Seilbahn	2	126	0.03	30.3	64.1	5.6

Tabelle 21: Bereich der mittleren Belastung der NF-MF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert wird nach Gleichung (10) berechnet. Das Minimum und Maximum zeigen jeweils den tiefsten und höchsten Mittelwert pro einzelne Messumgebung. "N" bezeichnet die Anzahl der enthaltenen Mikroumgebungen.

	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	0.08	0.30	1.12
	Stadtzentrum	10	0.17	0.26	0.37
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	0.14	0.23	0.35
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	0.07	0.20	0.39
	Dorfzentrum	16	0.05	0.19	0.59
	suburbanes Stadtzentrum	21	0.07	0.19	0.42
	suburbanes Wohngebiet	29	0.06	0.15	0.45
	ländliches Wohngebiet	16	0.05	0.13	0.22
	Naturgebiet	3	0.02	0.12	0.25
	landwirtschaftliches Gebiet	9	0.03	0.06	0.09
	Sport-/Freizeitgebiet	4	0.02	0.04	0.07
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
	Bahnhof	26	0.05	0.77	2.62
	Tramhaltestelle	7	0.10	0.30	0.61
	ETH/UNI/FH	6	0.03	0.25	0.56
	Bushaltestelle	22	0.04	0.20	0.49
	Restaurant	18	0.03	0.12	0.52
	Schule	13	0.02	0.06	0.15
	Supermarkt	11	0.04	0.06	0.13
	Bibliothek	1	0.04	0.04	0.04
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
	Zug	89	0.02	1.29	10.15
	Tram	10	0.14	0.37	0.73
	Bus	55	0.04	0.15	0.49
	Auto	16	0.04	0.13	0.20
	Metro	1	0.11	0.11	0.11
	Seilbahn	2	0.02	0.02	0.03

3.1.1.4 Zusätzliche Analysen in Schulen - HF- und NF-Exposition

Tabelle 22: Statistische Kenngrössen (in V/m) der gesamten RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF-Exposition in Schulen. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

Schule RMS	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	205	0.01	0.02	0.02	0.04	0.08	0.23	0.47
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	3	461	0.02	0.04	0.06	0.09	0.17	0.33	1.24
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	776	0.03	0.04	0.07	0.10	0.26	0.48	0.83
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	2	256	0.13	0.17	0.23	0.29	0.39	0.62	0.77
Korridor	5	768	0.02	0.02	0.04	0.06	0.09	0.18	0.76
Schule Peak	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	205	0.07	0.08	0.13	0.34	0.97	2.85	13.11
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	3	461	0.07	0.17	0.38	0.59	1.17	3.17	14.71
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	777	0.09	0.16	0.31	0.65	1.40	2.67	5.13
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	2	256	0.55	0.79	1.12	1.50	2.20	3.27	5.58
Korridor	5	767	0.07	0.10	0.18	0.32	0.52	1.02	3.49

Tabelle 23: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS und Peak) in Schulen. RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

Schule RMS	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	205	0.11	0.3	6.3	0.2	1.6	91.4	0.1
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	3	461	0.18	21.2	12.0	3.7	2.3	60.8	0.1
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	776	0.23	76.8	0.2	1.3	20.8	0.5	0.4
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	2	256	0.36	78.2	0.1	0.4	20.5	0.4	0.4
Korridor	5	768	0.09	52.8	1.8	0.6	26.3	18.4	0.1
Schule Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	205	1.65	0.0	0.7	0.0	0.1	99.1	0.0
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	3	461	1.70	13.5	2.2	9.0	0.1	75.2	0.0
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	777	1.30	83.0	0.1	4.2	10.2	0.9	1.6
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	2	256	1.93	88.5	0.1	0.4	10.7	0.3	0.1
Korridor	5	767	0.54	54.5	1.2	3.8	10.3	29.9	0.3

Tabelle 24: Statistische Kenngrössen (in μT) der gesamten NF-MF-Exposition in Schulen. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte in Schulen. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

Schule NF	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	203	0.02	0.02	0.04	0.06	0.11	0.16	0.23
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	3	459	0.02	0.02	0.03	0.04	0.07	0.11	0.17
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	775	0.02	0.02	0.03	0.04	0.08	0.18	0.35
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	2	256	0.03	0.04	0.06	0.10	0.16	0.22	0.27
Korridor	5	766	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.10	0.17

Tabelle 25: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen NF-Quellen (Eisenbahnstrom, Stromversorgung, Tram-Rippelstrom) der gesamten NF-MF-Exposition in Schulen. RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (6). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

Schule NF	N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom	Stromversorgung	Tram-Rippelstrom
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	203	0.13	91.0	8.7	0.2
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	3	459	0.09	2.2	97.2	0.5
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	775	0.06	5.9	93.0	1.1
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	2	256	0.09	78.8	20.7	0.5
Korridor	5	766	0.05	41.7	56.5	1.8

3.1.1.5 Zusätzliche Analysen zur HF-Exposition in Autos mit dem Mobiltelefon im Online- und Flugmodus

Tabelle 26: Statistische Kenngrößen (in V/m) der gesamten RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF-Exposition in Autos. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs

Schule RMS	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Handy im Online-Modus	8	5624	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.47	2.42
Handy im Flugmodus	8	6033	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.49	2.56
Schule Peak	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Handy im Online-Modus	8	5624	0.02	0.10	0.28	0.59	1.32	3.22	14.11
Handy im Flugmodus	8	6033	0.03	0.08	0.27	0.60	1.36	3.54	12.16

Tabelle 27: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS und Peak) in Autos. RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

Schule RMS	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Handy im Online-Modus	8	282	0.24	82.3	8.9	3.6	4.7	0.5	0.1
Handy im Flugmodus	8	296	0.23	87.4	2.8	3.6	5.4	0.5	0.2
Schule Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Handy im Online-Modus	8	283	1.63	72.0	7.6	17.9	1.7	0.7	0.1
Handy im Flugmodus	8	296	1.58	75.3	2.4	19.3	2.1	0.8	0.1

3.1.2 Vergleich der HF- und NF-Exposition in den Jahren 2022 und 2024

Tabelle 28: Statistische Kenngrössen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS) im Jahr 2024 und im Jahr 2022. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	Year	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Industriegebiet	2024	14	2273	0.03	0.09	0.18	0.30	0.46	0.82	1.77
		2022	14	2326	0.05	0.10	0.18	0.29	0.45	0.78	2.85
	Stadtzentrum	2024	10	1733	0.04	0.07	0.15	0.25	0.39	0.78	2.64
		2022	10	1677	0.03	0.06	0.14	0.24	0.39	0.88	6.02
	urbanes zentrales Wohngebiet	2024	10	1592	0.02	0.05	0.12	0.20	0.35	0.63	3.60
		2022	10	1617	0.02	0.06	0.12	0.20	0.34	0.69	3.66
	landwirtschaftliches Gebiet*	2024	9	1463	0.02	0.04	0.10	0.18	0.49	1.58	2.78
		2022	9	1500	0.02	0.03	0.09	0.16	0.46	1.55	2.46
	Sport-/Freizeitgebiet	2024	4	635	0.06	0.09	0.13	0.17	0.22	0.44	0.96
		2022	4	659	0.08	0.10	0.13	0.17	0.22	0.40	1.40
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2024	18	2967	0.02	0.04	0.10	0.16	0.27	0.50	2.15
		2022	18	2987	0.02	0.04	0.09	0.15	0.26	0.51	2.08
	suburbanes Stadtzentrum	2024	21	3423	0.02	0.05	0.10	0.15	0.24	0.48	1.83
		2022	21	3392	0.02	0.05	0.10	0.15	0.24	0.49	2.23
	suburbanes Wohngebiet	2024	29	4740	0.02	0.03	0.07	0.14	0.24	0.51	1.48
		2022	29	4804	0.02	0.03	0.07	0.13	0.24	0.51	1.41
	ländliches Wohngebiet	2024	16	2615	0.02	0.03	0.06	0.11	0.20	0.48	2.25
		2022	16	2677	0.01	0.03	0.06	0.10	0.19	0.46	2.21
	Dorfzentrum	2024	16	2567	0.02	0.03	0.04	0.08	0.14	0.31	0.91
		2022	26	2573	0.02	0.02	0.04	0.08	0.13	0.30	1.02
	Naturgebiet	2024	3	459	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.26	0.56
		2022	3	470	0.02	0.03	0.05	0.07	0.13	0.27	0.52
öffentliche Bereiche	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	2024	2	252	0.14	0.28	0.38	0.48	0.58	0.70	1.89
		2022	2	266	0.13	0.22	0.29	0.39	0.48	0.67	1.11
	Bushaltestelle	2024	20	1954	0.02	0.12	0.21	0.33	0.50	1.16	9.90
		2022	20	1818	0.05	0.11	0.20	0.34	0.50	1.39	10.39
	Bahnhof	2024	25	2421	0.02	0.08	0.21	0.33	0.61	1.12	5.25
		2022	25	2358	0.04	0.07	0.17	0.31	0.56	1.18	3.53
	ETH/UNI/FH	2024	6	762	0.02	0.03	0.11	0.32	0.57	0.96	1.58
		2022	6	860	0.02	0.03	0.05	0.23	0.49	0.84	1.37
	Restaurant	2024	15	2147	0.02	0.04	0.09	0.20	0.33	0.52	1.28
		2022	15	2889	0.02	0.04	0.08	0.20	0.53	0.92	6.11
	Schule	2024	15	2242	0.02	0.03	0.05	0.09	0.21	0.41	0.83
		2022	15	2138	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.43	1.36
	Supermarkt	2024	11	1226	0.02	0.03	0.05	0.07	0.11	0.27	0.97
		2022	11	1234	0.02	0.02	0.04	0.06	0.11	0.26	1.06
	Bibliothek	2024	1	174	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.32
		2022	1	129	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.31
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	2024	10	22665	0.01	0.06	0.18	0.30	0.44	0.73	2.90
		2022	7	26200	0.01	0.06	0.15	0.24	0.38	0.70	3.04
	Tram	2024	89	1191	0.05	0.13	0.21	0.28	0.38	0.62	1.73
		2022	97	787	0.05	0.10	0.17	0.24	0.36	0.62	1.42
	Metro	2024	1	60	0.09	0.10	0.13	0.20	0.25	0.43	0.51
		2022	3	187	0.10	0.13	0.22	0.29	0.39	0.70	1.09
	Bus	2024	55	5819	0.02	0.06	0.13	0.21	0.33	0.64	2.85
		2022	57	5909	0.02	0.06	0.13	0.20	0.30	0.58	2.41
	Seilbahn	2024	2	126	0.03	0.05	0.08	0.17	0.27	0.98	2.80
		2022	2	141	0.03	0.03	0.06	0.12	0.18	0.26	0.33
	Auto	2024	24	12813	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.49	2.56
		2022	4	1195	0.02	0.03	0.05	0.08	0.16	0.41	2.84

Tabelle 29: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen im Jahr 2022 und im Jahr 2024 (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS). RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	Year	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	2024	14	2273	0.43	82.5	0.1	8.5	8.4	0.2	0.2
		2022	14	2326	0.42	87.3	0.1	3.5	8.7	0.2	0.1
	Stadtzentrum	2024	10	1733	0.41	93.2	0.3	3.2	2.4	0.8	0.1
		2022	10	1677	0.48	95.8	0.1	0.8	2.7	0.5	0.1
	urbanes zentrales Wohngebiet	2024	10	1592	0.37	92.5	0.4	2.2	4.3	0.5	0.1
		2022	10	1617	0.40	95.8	0.3	0.6	2.8	0.4	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet*	2024	9	1463	0.65	3.9	0.0	0.1	96.0	0.0	0.0
		2022	9	1500	0.62	2.7	0.0	0.0	97.2	0.0	0.0
	Sport-/Freizeitgebiet	2024	4	635	0.23	76.9	0.1	1.4	21.4	0.2	0.1
		2022	4	659	0.24	80.8	0.1	0.2	18.7	0.2	0.0
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2024	18	2967	0.26	69.0	0.1	5.0	25.2	0.5	0.2
		2022	18	2987	0.26	74.0	0.1	1.9	23.3	0.5	0.1
	suburbanes Stadtzentrum	2024	21	3423	0.24	81.1	0.1	5.0	12.8	0.9	0.1
		2022	21	3392	0.25	86.5	0.1	1.4	11.2	0.6	0.1
	suburbanes Wohngebiet	2024	29	4740	0.24	59.8	0.1	3.2	36.4	0.4	0.1
		2022	29	4804	0.24	60.6	0.1	1.3	37.5	0.4	0.1
	ländliches Wohngebiet	2024	16	2615	0.23	76.7	0.1	4.1	18.9	0.2	0.0
		2022	16	2677	0.23	78.7	0.1	0.6	20.2	0.3	0.0
	Dorfzentrum	2024	16	2567	0.15	49.5	0.3	1.9	47.1	0.7	0.5
		2022	26	2573	0.15	54.1	0.2	0.8	43.7	0.9	0.3
	Naturgebiet	2024	3	459	0.13	44.0	2.2	5.4	47.2	1.1	0.0
		2022	3	470	0.13	54.5	0.5	1.0	42.9	1.0	0.0

	Messumgebung		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
öffentliche Bereiche	Tramhaltestelle	2024	2	252	0.51	80.8	0.2	15.3	2.0	0.9	0.8
		2022	2	266	0.43	90.5	0.1	2.6	4.8	1.6	0.3
	Bushaltestelle	2024	20	1954	0.64	80.8	1.4	12.9	3.2	0.5	1.2
		2022	20	1818	0.56	73.5	0.6	3.8	20.9	0.7	0.4
	Bahnhof	2024	25	2421	0.64	86.7	0.2	1.3	11.0	0.3	0.5
		2022	25	2358	0.76	93.5	0.3	0.6	5.2	0.3	0.2
	ETH/UNI/FH	2024	6	762	0.47	82.5	0.7	9.6	4.3	1.5	1.4
		2022	6	860	0.42	91.0	1.1	2.3	3.8	1.6	0.2
	Restaurant	2024	15	2147	0.28	85.7	3.2	0.8	1.8	7.1	1.4
		2022	15	2889	0.46	95.1	1.7	0.1	0.9	1.7	0.5
	Schule	2024	15	2242	0.20	71.7	1.8	1.5	19.5	5.2	0.3
		2022	15	2138	0.21	73.4	0.9	1.5	19.6	4.2	0.4
	Supermarkt	2024	11	1226	0.14	60.9	5.0	1.7	6.7	11.9	13.8
		2022	11	1234	0.13	68.3	5.2	0.3	2.5	12.8	10.9
	Bibliothek	2024	1	174	0.06	15.4	5.8	1.9	46.7	30.2	0.1
		2022	1	129	0.08	38.6	5.3	0.4	33.1	22.6	0.1
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Zug	2024	10	22665	0.40	27.7	38.7	20.5	2.1	10.8	0.1
		2022	7	26200	0.37	44.4	35.1	5.6	1.1	13.6	0.1
	Tram	2024	89	1191	0.36	54.0	14.6	17.5	7.5	6.3	0.1
		2022	97	787	0.34	74.6	6.7	5.6	4.7	8.1	0.2
	Metro	2024	1	60	0.24	20.2	44.6	23.7	1.3	10.1	0.0
		2022	3	187	0.37	10.6	66.6	0.0	0.6	22.2	0.0
	Bus	2024	55	5819	0.34	56.2	6.8	15.7	16.8	4.4	0.1
		2022	57	5909	0.31	65.6	8.8	4.6	13.8	7.1	0.2
	Seilbahn	2024	2	126	0.47	6.1	91.8	0.5	0.4	1.1	0.0
		2022	2	141	0.15	67.3	15.7	1.1	12.4	3.5	0.1
	Auto	2024	24	12813	0.24	81.7	5.7	3.5	7.7	1.3	0.2
		2022	4	1195	0.21	94.6	0.1	0.5	4.4	0.1	0.2

Tabelle 30: Statistische Kenngrößen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak) im Jahr 2022 und im Jahr 2024. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	Year	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Industriegebiet	2024	14	2272	0.13	0.43	1.08	1.88	3.19	5.56	10.95
		2022	14	2324	0.18	0.49	0.99	1.69	2.81	5.17	18.13
	Stadtzentrum	2024	10	1733	0.11	0.32	0.77	1.42	2.36	5.03	14.44
		2022	10	1675	0.11	0.25	0.67	1.21	2.09	5.23	16.89
	urbanes zentrales Wohngebiet	2024	10	1591	0.10	0.24	0.64	1.19	2.05	3.85	14.71
		2022	10	1616	0.09	0.26	0.58	1.08	1.84	3.69	26.25
	landwirtschaftliches Gebiet*	2024	9	1464	0.09	0.16	0.38	0.92	2.06	6.95	13.05
		2022	9	1498	0.07	0.12	0.32	0.67	1.70	6.96	12.27
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2024	18	2964	0.07	0.14	0.45	0.83	1.54	3.01	8.77
		2022	18	2990	0.07	0.12	0.38	0.71	1.31	2.73	10.38
	suburbanes Stadtzentrum	2024	21	3427	0.09	0.20	0.48	0.83	1.46	3.27	14.28
		2022	21	3391	0.08	0.20	0.43	0.74	1.28	2.80	7.92
	Sport-/Freizeitgebiet	2024	4	633	0.28	0.40	0.58	0.76	1.21	2.88	5.51
		2022	4	659	0.24	0.38	0.52	0.70	1.18	2.90	6.53
	suburbanes Wohngebiet	2024	29	4739	0.05	0.11	0.30	0.63	1.26	3.22	8.79
		2022	29	4809	0.06	0.11	0.25	0.55	1.13	2.80	9.01
	ländliches Wohngebiet	2024	16	2615	0.07	0.11	0.24	0.49	1.23	3.13	9.97
		2022	16	2677	0.06	0.10	0.21	0.45	0.99	2.52	8.00
	Dorfzentrum	2024	16	2564	0.06	0.10	0.18	0.34	0.66	1.80	5.33
		2022	26	2573	0.05	0.09	0.16	0.30	0.59	1.57	4.30
	Naturgebiet	2024	3	459	0.08	0.12	0.18	0.26	0.64	1.74	3.49
		2022	3	470	0.06	0.10	0.14	0.22	0.57	1.77	2.80
öffentliche Bereiche	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	2024	2	254	1.35	1.86	2.31	2.67	3.16	4.11	7.66
		2022	2	265	0.63	1.09	1.53	2.00	2.56	3.35	5.03
	Bushaltestelle	2024	20	1953	0.10	0.48	1.15	1.83	3.13	6.05	38.20
		2022	20	1822	0.16	0.38	1.05	1.79	2.90	7.26	63.66
	Bahnhof	2024	25	2423	0.17	0.28	0.91	1.93	3.89	7.50	41.28
		2022	25	2353	0.15	0.34	0.83	1.64	2.99	5.85	28.50
	ETH/UNI/FH	2024	6	762	0.08	0.17	0.68	1.79	3.27	5.11	10.84
		2022	6	861	0.07	0.15	0.34	1.29	2.46	4.28	14.44
	Restaurant	2024	15	2150	0.10	0.21	0.60	1.32	2.02	3.10	6.55
		2022	15	2890	0.08	0.13	0.51	1.31	2.56	3.82	22.64
	Schule	2024	15	2242	0.07	0.13	0.28	0.51	1.21	2.61	13.11
		2022	15	2140	0.06	0.11	0.27	0.51	1.18	2.65	9.61
	Supermarkt	2024	11	1226	0.07	0.13	0.30	0.50	0.93	1.85	6.00
		2022	11	1234	0.06	0.13	0.27	0.46	0.84	1.85	7.59
	Bibliothek	2024	1	173	0.09	0.11	0.13	0.16	0.28	0.58	1.79
		2022	1	130	0.07	0.09	0.13	0.23	0.58	1.54	5.25
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tram	2024	10	1190	0.25	0.68	1.38	2.00	2.73	4.14	9.57
		2022	7	787	0.17	0.48	1.02	1.50	2.18	3.64	6.78
	Zug	2024	89	22667	0.07	0.37	1.23	2.08	3.13	5.48	46.55
		2022	97	26206	0.03	0.31	0.91	1.53	2.43	4.59	18.88
	Metro	2024	1	61	0.39	0.59	0.92	1.16	1.72	3.03	7.52
		2022	3	187	0.37	0.75	1.11	1.58	2.25	3.41	6.82
	Bus	2024	55	5820	0.09	0.31	0.76	1.34	2.34	4.45	19.91
		2022	57	5904	0.09	0.28	0.69	1.14	1.83	3.50	11.49
	Seilbahn	2024	2	126	0.16	0.27	0.59	1.19	2.26	3.47	8.25
		2022	2	142	0.09	0.11	0.35	0.64	1.01	1.58	2.01
	Auto	2024	24	12703	0.02	0.10	0.28	0.59	1.33	3.44	14.11
		2022	4	1194	0.06	0.10	0.23	0.39	0.78	2.39	11.59

Tabelle 31: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen im Jahr 2022 und im Jahr 2024 (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak). RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	Year	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	2024	14	2272	2.80	68.9	0.0	28.5	2.3	0.2	0.1
		2022	14	2324	2.67	72.6	0.0	24.3	2.7	0.3	0.1
	Stadtzentrum	2024	10	1733	2.54	81.1	0.2	17.0	0.5	1.1	0.0
		2022	10	1675	2.58	91.0	0.2	7.2	0.7	0.9	0.1
	urbanes zentrales Wohngebiet	2024	10	1591	2.03	84.0	0.1	13.5	1.7	0.5	0.1
		2022	10	1616	2.20	93.7	0.1	4.7	1.0	0.6	0.0
	landwirtschaftliches Gebiet*	2024	9	1464	2.83	7.8	0.0	1.1	91.0	0.1	0.0
		2022	9	1498	2.68	5.2	0.0	0.0	94.6	0.1	0.0
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2024	18	2964	1.51	72.9	0.1	16.7	9.7	0.5	0.1
		2022	18	2990	1.32	76.5	0.1	12.1	10.1	1.1	0.1
	suburbanes Stadtzentrum	2024	21	3427	1.59	74.4	0.2	21.3	2.9	1.1	0.1
		2022	21	3391	1.35	84.9	0.2	10.2	3.4	1.1	0.2
	Sport-/Freizeitgebiet	2024	4	633	1.33	87.3	0.1	5.4	6.8	0.4	0.0
		2022	4	659	1.31	92.8	0.4	0.5	5.9	0.4	0.1
	suburbanes Wohngebiet	2024	29	4739	1.48	64.3	0.1	22.1	13.1	0.4	0.0
		2022	29	4809	1.29	65.3	0.0	17.7	16.4	0.4	0.0
	ländliches Wohngebiet	2024	16	2615	1.48	67.7	0.0	27.7	4.2	0.3	0.0
		2022	16	2677	1.16	88.2	0.1	4.8	6.0	0.9	0.0
öffentliche Bereiche	Dorfzentrum	2024	16	2564	0.83	69.3	0.2	9.3	19.6	1.5	0.1
		2022	26	2573	0.72	68.5	0.2	6.2	22.9	2.1	0.1
	Naturgebiet	2024	3	459	0.74	58.4	1.1	26.8	10.2	3.5	0.0
		2022	3	470	0.72	66.3	3.3	16.9	9.2	4.4	0.0
	Messumgebung		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Tramhaltestelle	2024	2	254	2.88	62.0	0.4	35.3	0.7	1.2	0.4
		2022	2	265	2.22	82.4	0.4	13.7	0.8	2.6	0.2
	Bushaltestelle	2024	20	1953	3.53	86.4	0.3	10.1	2.5	0.3	0.3
		2022	20	1822	4.19	93.0	0.3	4.7	1.4	0.3	0.2
	Bahnhof	2024	25	2423	4.25	59.8	1.1	37.7	0.4	0.8	0.2
		2022	25	2353	3.04	70.1	0.7	24.1	3.3	1.6	0.2
	ETH/UNI/FH	2024	6	762	2.73	77.9	0.9	17.5	2.1	1.3	0.4
		2022	6	861	2.14	70.1	3.0	14.2	1.9	10.7	0.1
	Restaurant	2024	15	2150	1.74	65.9	4.1	3.4	0.2	24.0	2.4
		2022	15	2890	2.17	86.2	2.8	0.1	4.4	6.1	0.4
	Schule	2024	15	2242	1.23	65.7	0.8	5.5	7.7	19.6	0.7
		2022	15	2140	1.22	67.8	0.8	12.9	8.7	9.7	0.1
	Supermarkt	2024	11	1226	0.93	37.5	3.3	4.5	1.4	41.6	11.8
		2022	11	1234	1.02	25.0	2.6	0.7	0.3	61.2	10.2
	Bibliothek	2024	1	173	0.31	13.6	13.3	3.0	7.3	62.7	0.1
		2022	1	130	0.84	8.2	1.0	0.1	1.7	89.0	0.0
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Tram	2024	10	1190	2.43	33.4	15.4	44.3	1.5	5.4	0.1
		2022	7	787	1.97	54.9	8.3	27.3	2.1	7.3	0.1
	Zug	2024	89	22667	3.00	14.9	25.9	48.9	0.6	9.7	0.0
		2022	97	26206	2.34	30.9	29.3	18.7	0.4	20.6	0.1
	Metro	2024	1	61	1.79	7.3	40.8	38.5	0.2	13.3	0.0
		2022	3	187	2.04	8.6	66.8	0.0	0.1	24.4	0.0
	Bus	2024	55	5820	2.26	44.7	6.2	42.4	2.6	4.1	0.0
		2022	57	5904	1.80	55.8	9.4	21.8	4.6	8.4	0.0

	Seilbahn	2024	2	126	1.97	19.0	46.4	24.8	0.1	9.6	0.0
		2022	2	142	0.85	67.3	25.3	3.8	1.9	1.7	0.0
	Auto	2024	24	12703	1.61	72.5	5.0	18.7	2.8	0.9	0.1
		2022	4	1194	1.20	93.1	0.0	5.4	1.1	0.3	0.1

Tabelle 32: Statistische Kenngrößen (in μT) der gesamten NF-MF-Exposition im Jahr 2022 und im Jahr 2024. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	Year	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Stadtzentrum	2024	10	1728	0.02	0.04	0.11	0.19	0.32	0.63	22.72
		2022	10	1675	0.02	0.05	0.11	0.19	0.32	0.62	1.69
	urbanes zentrales Wohngebiet	2024	10	1587	0.02	0.04	0.10	0.17	0.28	0.60	1.66
		2022	10	1613	0.02	0.05	0.11	0.18	0.29	0.58	1.43
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2024	18	2956	0.01	0.03	0.08	0.15	0.26	0.56	2.08
		2022	18	2986	0.01	0.03	0.08	0.14	0.26	0.54	1.66
	Industriegebiet	2024	14	2270	0.01	0.02	0.06	0.14	0.31	1.39	4.57
		2022	14	2317	0.01	0.02	0.06	0.13	0.32	1.36	6.87
	suburbanes Stadtzentrum	2024	21	3419	0.02	0.03	0.07	0.13	0.24	0.51	9.69
		2022	21	3380	0.02	0.03	0.07	0.13	0.26	0.55	1.52
	Dorfzentrum	2024	16	2563	0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.59	2.81
		2022	16	2567	0.01	0.02	0.05	0.11	0.20	0.44	3.49
	suburbanes Wohngebiet	2024	29	4727	0.02	0.02	0.05	0.10	0.19	0.42	2.09
		2022	29	4794	0.01	0.02	0.04	0.09	0.18	0.40	1.87
	ländliches Wohngebiet	2024	16	2607	0.01	0.02	0.04	0.09	0.18	0.33	0.85
		2022	16	2676	0.01	0.02	0.04	0.09	0.15	0.30	0.83
öffentliche Bereiche	Naturgebiet	2024	3	458	0.01	0.02	0.02	0.05	0.12	0.35	4.11
		2022	3	469	0.01	0.02	0.02	0.06	0.14	0.35	1.69
	landwirtschaftliches Gebiet*	2024	9	1461	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.19	1.46
		2022	9	1498	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.18	1.18
	Sport-/Freizeitgebiet	2024	4	633	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.20	0.68
		2022	4	657	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.23	0.99
	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Bahnhof	2024	25	2418	0.02	0.04	0.11	0.38	1.00	2.79	18.31
		2022	25	2352	0.02	0.04	0.12	0.36	0.88	2.32	8.49
	Bushaltestelle	2024	20	1949	0.01	0.04	0.09	0.15	0.26	0.54	1.78
		2022	20	1813	0.02	0.03	0.10	0.17	0.28	0.63	2.23
	ETH/UNI/FH	2024	6	760	0.01	0.02	0.05	0.18	0.46	0.81	1.85
		2022	6	860	0.02	0.02	0.03	0.14	0.36	0.87	2.35
	Tramhaltestelle	2024	2	252	0.05	0.07	0.10	0.16	0.25	0.49	1.00
		2022	2	267	0.04	0.05	0.09	0.14	0.32	0.45	1.09
	Restaurant	2024	15	2145	0.02	0.02	0.03	0.06	0.14	0.37	2.54
		2022	15	2881	0.01	0.02	0.03	0.05	0.13	0.44	1.40
Verkehrsmittel	Supermarkt	2024	11	1223	0.02	0.02	0.03	0.05	0.07	0.14	0.39
		2022	11	1231	0.02	0.02	0.04	0.06	0.09	0.20	0.69
	Schule	2024	15	2236	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.17	0.35
		2022	15	2133	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.35
	Bibliothek	2024	1	173	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.16	0.28
		2022	1	129	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.17	9.24
	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	2024	89	22624	0.01	0.06	0.19	0.44	1.20	6.34	37.93
		2022	97	26056	0.01	0.07	0.20	0.45	1.23	5.91	21.77
	Tram	2024	10	1188	0.03	0.07	0.14	0.22	0.35	1.04	14.74
		2022	7	787	0.02	0.05	0.09	0.18	0.34	1.02	4.52
	Auto	2024	15	12885	0.01	0.03	0.05	0.09	0.19	0.41	11.35
		2022	4	1194	0.01	0.02	0.07	0.13	0.21	0.48	3.84
	Bus	2024	55	5804	0.01	0.02	0.05	0.08	0.17	0.46	3.97
		2022	57	5896	0.02	0.03	0.05	0.08	0.15	0.46	5.94
	Metro	2024	1	60	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.31	0.69

	2022	3	186	0.02	0.02	0.03	0.05	0.09	0.20	0.56
	2024	2	126	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.07
Seilbahn	2022	2	141	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.15

Tabelle 33: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen NF-Quellen im Jahr 2022 und im Jahr 2024 (Eisenbahnstrom, Stromversorgung, Tram-Rippelstrom) der gesamten NF-MF-Exposition. RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (6). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	Year	N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom [%]	Stromversorgung [%]	Tram-Rippelstrom [%]
Mikroumgebungen	Stadtzentrum	2024	10	1728	0.63	1.8	96.7	1.6
		2022	10	1675	0.31	3.9	93.2	3.0
	urbanes zentrales Wohngebiet	2024	10	1587	0.31	2.9	92.3	4.9
		2022	10	1613	0.28	4.1	93.3	2.6
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2024	18	2956	0.28	15.4	83.9	0.7
		2022	18	2986	0.26	12.9	86.3	0.7
	Industriegebiet	2024	14	2270	0.61	49.1	50.9	0.0
		2022	14	2317	0.65	26.4	73.5	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	2024	21	3419	0.31	53.8	46.1	0.1
		2022	21	3380	0.26	25.8	74.1	0.1
	Dorfzentrum	2024	16	2563	0.29	39.6	60.3	0.0
		2022	16	2567	0.24	32.1	67.8	0.1
	suburbanes Wohngebiet	2024	29	4727	0.22	8.1	91.9	0.1
		2022	29	4794	0.20	9.4	90.5	0.1
	ländliches Wohngebiet	2024	16	2607	0.17	21.3	78.5	0.1
		2022	16	2676	0.15	27.7	72.2	0.2
	Naturgebiet	2024	3	458	0.30	95.5	4.5	0.0
		2022	3	469	0.20	91.9	8.0	0.1
öffentliche Bereiche	landwirtschaftliches Gebiet*	2024	9	1461	0.09	12.7	86.9	0.5
		2022	9	1498	0.09	12.3	87.0	0.7
	Sport-/Freizeitgebiet	2024	4	633	0.08	16.6	82.9	0.6
		2022	4	657	0.12	16.8	82.9	0.3
	Messumgebung		N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom	Stromversorgung	Tram-Rippelstrom
	Bahnhof	2024	25	2418	1.43	99.6	0.4	0.0
		2022	25	2352	1.08	98.4	1.5	0.0
	Bushaltestelle	2024	20	1949	0.41	98.6	1.4	0.0
		2022	20	1813	0.39	98.2	1.8	0.0
	ETH/UNI/FH	2024	6	760	0.41	98.6	1.4	0.0
		2022	6	860	0.39	98.2	1.8	0.0
	Tramhaltestelle	2024	2	252	0.26	15.5	23.7	60.8
		2022	2	267	0.26	4.1	53.2	42.7
	Restaurant	2024	15	2145	0.22	24.9	75.0	0.1
		2022	15	2881	0.19	42.5	57.4	0.1
	Supermarkt	2024	11	1223	0.08	18.0	81.3	0.7
		2022	11	1231	0.10	22.4	77.2	0.4
	Schule	2024	15	2236	0.08	70.3	29.1	0.7
		2022	15	2133	0.07	78.3	21.0	0.8
Verkehrs-	Bibliothek	2024	1	173	0.06	4.9	94.0	1.1
		2022	1	129	0.82	0.7	4.4	94.9
	Messumgebung		N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom	Stromversorgung	Tram-Rippelstrom
Zug		2024	89	26056	3.29	99.7	0.3	0.0
		2022	97	22624	2.49	99.7	0.3	0.0

Tram	2024	10	1188	1.09	64.0	29.2	6.7
	2022	7	787	0.55	34.5	37.4	28.2
Auto	2024	15	1194	0.28	86.0	13.8	0.3
	2022	4	12885	0.32	94.1	5.9	0.0
Bus	2024	55	5804	0.24	69.8	28.2	2.0
	2022	57	5896	0.32	80.3	18.0	1.7
Metro	2024	1	60	0.15	66.7	27.4	5.9
	2022	3	186	0.11	79.5	18.1	2.4
Seilbahn	2024	2	126	0.03	30.3	64.1	5.6
	2022	2	141	0.03	16.9	79.7	3.4

Tabelle 34: Vergleich der in den Jahren 2022 und 2024 gemessenen HF-Medianwerte und Mittelwerte (RMS und Peak) (in V/m) für Routenmessungen.

		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
Mikroumgebungen	HF Quelle	0.15	0.15	0.32	0.32	0.69	0.78	1.71	1.83
	Gesamt HF-EMF	0.10	0.10	0.26	0.25	0.53	0.58	1.42	1.46
	Downlink	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.06
	Uplink	0.01	0.01	0.04	0.06	0.04	0.10	0.58	0.79
	TDD	0.05	0.05	0.19	0.19	0.09	0.10	0.74	0.76
	Rundfunk	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.08	0.13	0.13
	WLAN	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01	0.05	0.04
	DECT								
Öffentliche Bereiche		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
	HF Quelle	0.20	0.22	0.48	0.46	1.15	1.24	2.57	2.79
	Gesamt HF-EMF	0.17	0.17	0.45	0.41	0.82	0.90	2.32	2.31
	Downlink	0.01	0.01	0.04	0.05	0.05	0.05	0.26	0.29
	Uplink	0.01	0.01	0.06	0.12	0.04	0.07	0.82	1.38
	TDD	0.03	0.03	0.14	0.12	0.06	0.06	0.43	0.33
	Rundfunk	0.02	0.02	0.05	0.05	0.13	0.14	0.50	0.53
Verkehrsmittel		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
	HF Quelle	0.22	0.23	0.35	0.35	1.42	1.52	2.21	2.54
	Gesamt HF-EMF	0.11	0.10	0.24	0.22	0.51	0.56	1.30	1.28
	Downlink	0.07	0.04	0.19	0.19	0.50	0.28	1.14	1.17
	Uplink	0.01	0.02	0.08	0.15	0.03	0.16	0.96	1.69
	TDD	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.06	0.21	0.26
	Rundfunk	0.07	0.04	0.12	0.10	0.36	0.25	0.96	0.71
Verkehrsmittel		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
	HF Quelle	0.22	0.23	0.35	0.35	1.42	1.52	2.21	2.54
	Gesamt HF-EMF	0.11	0.10	0.24	0.22	0.51	0.56	1.30	1.28
	Downlink	0.07	0.04	0.19	0.19	0.50	0.28	1.14	1.17
	Uplink	0.01	0.02	0.08	0.15	0.03	0.16	0.96	1.69
	TDD	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.06	0.21	0.26
	Rundfunk	0.07	0.04	0.12	0.10	0.36	0.25	0.96	0.71
	WLAN	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06	0.06
	DECT								

IV Statistische Kenngrößen der Spotmessungen

4.1 Statistische Kenngrößen der HF-Exposition

Tabelle 35: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der RMS HF elektrischen Gesamtfeldstärke für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 26 dargestellt. Der Berechnung liegt Gleichung (1) zu Grunde. N bezeichnet die Anzahl an Standortmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet.

				HF-EMF-Exposition (RMS) (V/m)							
Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	47	2824	0.02	0.04	0.1	0.17	0.3	0.63	1.23	0.2
	Radio/TV	9	540	0.04	0.14	0.24	0.38	0.69	1.38	1.69	0.45
	keine HF-Primärquelle	34	2122	0.03	0.04	0.08	0.14	0.19	0.33	1.05	0.11
mobile Messung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	47	4586	0.02	0.03	0.08	0.15	0.27	0.6	1.78	0.19
	Radio/TV	9	900	0.05	0.1	0.2	0.35	0.65	1.1	2.21	0.45
	keine HF-Primärquelle	34	3372	0.01	0.02	0.05	0.09	0.16	0.35	2.48	0.11
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	47	398709	0.01	0.04	0.08	0.15	0.28	0.65	1.79	0.2
	Radio/TV	9	77928	0.05	0.07	0.19	0.36	0.72	0.97	1.1	0.53
	keine HF-Primärquelle	34	292958	0.02	0.03	0.05	0.09	0.15	0.3	1.63	0.1

Tabelle 36: Prozentuale Beiträge verschiedener Funkdienstgruppen zur elektrischen Gesamtfeldstärke, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 26 dargestellt. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (7). Es werden folgende Frequenzbandgruppen berücksichtigt: Downlink (DL), Uplink (UL), Time-Division-Duplex (TDD), Rundfunk, WLAN und DECT. N bezeichnet die Anzahl an Standortmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der quadratische Mittelwert (RMS) der Gesamtfeldstärke wird anhand von Gleichung (4) berechnet.

Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	47	2824	0.3	74.4	0.9	1	13.6	8.6	1.5
	Radio/TV	9	540	0.63	3.3	0	0.1	80	16.5	0.1
	keine HF-Primärquelle	34	2122	0.18	42.1	0.4	0.9	19.9	31.3	5.4
mobile Messung	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	47	4586	0.28	71.1	1.2	0.6	17	9.7	0.5
	Radio/TV	9	900	0.56	2.4	0	0	94	3.2	0.3
	keine HF-Primärquelle	34	3372	0.18	40	2.4	0.7	24.3	28.7	4
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	47	398709	0.32	81	0.5	0.6	16.2	1.5	0.3
	Radio/TV	9	77928	0.56	3.4	0	0	96.2	0.2	0
	keine HF-Primärquelle	34	292958	0.21	50.6	0.9	0.8	41.6	5.7	0.5

Tabelle 37: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der Peak HF elektrischen Gesamtfeldstärke für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 27 dargestellt. Der Berechnung liegt Gleichung (1) zu Grunde. N bezeichnet die Anzahl an Standortmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet.

				HF-EMF-Exposition (Peak) (V/m)							
Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	47	2824	0.08	0.24	0.76	1.14	2.25	4.71	7.21	1.49
	Radio/TV	9	540	0.1	0.6	1.3	1.82	4.15	6.88	9.46	2.85
	keine HF-Primärquelle	34	2122	0.1	0.21	0.61	0.99	1.81	4.36	9.77	1.2
mobile Messung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	47	4586	0.04	0.18	0.54	0.99	1.82	4.76	10.39	1.28
	Radio/TV	9	900	0.15	0.35	0.78	1.47	2.81	5.22	8.66	2.03
	keine HF-Primärquelle	34	3372	0.01	0.1	0.29	0.67	1.36	3.46	9.77	1.07
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	47	398709	0.05	0.19	0.43	0.88	1.53	4.97	9.64	1.1
	Radio/TV	9	77928	0.2	0.25	0.62	1.44	2.8	4.93	6.49	2.18
	keine HF-Primärquelle	34	292958	0.06	0.13	0.3	0.57	1.11	2.56	8.69	0.81

Tabelle 38: Prozentuale Beiträge verschiedener Funkdienstgruppen zur elektrischen Gesamtfeldstärke, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 27 dargestellt. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (7). Es werden folgende Frequenzbandgruppen berücksichtigt: Downlink (DL), Uplink (UL), Time-Division-Duplex (TDD), Rundfunk, WLAN und DECT. N bezeichnet die Anzahl an Standortmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der quadratische Mittelwert (Peak) der Gesamtfeldstärke wird anhand von Gleichung (4) berechnet.

Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	47	2824	2.17	58.3	0.2	7	3.6	26.9	4
	Radio/TV	9	540	3.45	4.2	0	0.2	29.6	65.6	0.3
	keine HF-Primärquelle	34	2122	1.92	12.7	0.3	2.1	2.4	76	6.5
mobile Messung	Primärquelle	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	47	4586	2.1	57.7	0.3	2.3	5.7	32.7	1.3
	Radio/TV	9	900	2.5	4.3	0	0.2	65.3	27.2	2.9
	keine HF-Primärquelle	34	3372	1.61	21.4	1.2	2.3	4.4	62.6	8
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	47	398709	2.13	89.1	0.2	1.8	5.4	3.1	0.5
	Radio/TV	9	77928	2.3	6.6	0.1	0.4	91.1	1.6	0.2
	keine HF-Primärquelle	34	292958	1.55	64	0.5	3.7	8.6	22	1.2

Tabelle 39: Minimum, Mittelwert und Maximum des quadratischen Mittelwerts (RMS) aller Messungen innerhalb einer Primärquellenkategorie. Die Berechnung der RMS-Werte erfolgt dabei nach Gleichung (4) und der Mittelwert wird nach Gleichung (9) berechnet. Als Grundlage wurden RMS-Messwerte des ExpoM-RF verwendet. Die Daten sind in Abbildung 28 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	47	2824	0.03	0.24	0.78
	Radio/TV	9	540	0.16	0.52	1.38
	keine HF-Primärquelle	34	2122	0.03	0.16	0.47
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
mobile Messung	Mobilfunk	47	4586	0.04	0.23	0.76
	Radio/TV	9	900	0.16	0.49	1.04
	keine HF-Primärquelle	34	3372	0.05	0.16	0.43
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
Langzeitmessung	Mobilfunk	47	398709	0.03	0.23	1.23
	Radio/TV	9	77928	0.07	0.46	0.95
	keine HF-Primärquelle	34	292958	0.03	0.14	0.98
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)

Tabelle 40: Minimum, Mittelwert und Maximum des quadratischen Mittelwerts aller Messungen innerhalb einer Primärquellenkategorie. Die Berechnung der RMS-Werte erfolgt dabei nach Gleichung (4) und der Mittelwert wird nach Gleichung (9) berechnet. Als Grundlage wurden Peak-Messwerte des ExpoM-RF verwendet. Die Daten sind in Abbildung 29 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	47	2824	0.15	1.75	5.02
	Radio/TV	9	540	0.63	2.94	6.39
	keine HF-Primärquelle	34	2122	0.18	1.53	4.61
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
mobile Messung	Mobilfunk	47	4586	0.19	1.76	5.34
	Radio/TV	9	900	0.52	2.27	4.19
	keine HF-Primärquelle	34	3372	0.26	1.44	3.14
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
Langzeitmessung	Mobilfunk	47	398709	0.12	1.47	7.43
	Radio/TV	9	77928	0.26	1.8	4.92
	keine HF-Primärquelle	34	292958	0.12	0.99	7.04
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)

4.2 Statistische Kenngrössen der NF-Exposition

Tabelle 41: Statistische Kenngrössen für die Verteilung der NF-MF magnetischen Gesamtflussdichte für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 30 dargestellt. Der Berechnung liegt Gleichung (2) zu Grunde. N bezeichnet die Anzahl an Stadtmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet. Bei den Bezeichnungen für die Primärquelle bedeutet 1sp einspurig und 2sp bedeutet zweispurig.

				NF-MF-Exposition (μT)							
Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Me- dian	Q75	Q95	max	IQR
	Eisenbahnlinien 2sp	7	421	0.02	0.03	0.05	0.1	0.19	0.36	1.02	0.14
	Eisenbahnlinien 1sp	6	362	0.02	0.03	0.04	0.06	0.1	0.26	0.63	0.06
	Eisenbahnlinien 2sp Tun- nel	1	60	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.09	0.15	0.02
	Eisenbahnlinien 1sp Tun- nel	2	120	0.05	0.05	0.07	0.13	0.24	0.39	0.54	0.17
	Tramlinien	1	60	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.02
	220/380 kV Freileitung	6	360	0.04	0.05	0.07	0.22	0.78	1.67	1.68	0.71
	36-150 kV Freileitung	5	301	0.02	0.02	0.05	0.18	0.29	0.67	0.69	0.24
	1-36 kV Freileitung	5	300	0.02	0.02	0.02	0.1	0.2	0.56	0.58	0.18
	Trafostationen	1	60	0.04	0.04	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.04
	keine NF-Primärquelle	56	3363	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.16	0.48	0.04
mobile Messung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Me- dian	Q75	Q95	max	IQR
	Eisenbahnlinien 2sp	7	701	0.02	0.03	0.06	0.1	0.18	0.33	0.93	0.12
	Eisenbahnlinien 1sp	6	596	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.22	0.56	0.05
	Eisenbahnlinien 2sp Tun- nel	1	100	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.11	0.18	0.02
	Eisenbahnlinien 1sp Tun- nel	2	201	0.03	0.04	0.08	0.17	0.26	0.38	1.46	0.18
	Tramlinien	1	100	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.18	0.23	0.04
	220/380 kV Freileitung	6	601	0.04	0.05	0.06	0.25	0.98	1.68	2.07	0.92
	36-150 kV Freileitung	5	460	0.02	0.02	0.04	0.17	0.27	0.5	0.72	0.23
	1-36 kV Freileitung	5	501	0.01	0.02	0.02	0.09	0.18	1.49	1.66	0.16

	Trafostationen	1	100	0.03	0.04	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.05
	keine NF-Primärquelle	56	5520	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.2	0.56	0.05
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Me- dian	Q75	Q95	max	IQR
	Eisenbahnlinien 2sp	7	60480	0.02	0.03	0.05	0.08	0.18	0.36	1.11	0.13
	Eisenbahnlinien 1sp	6	51818	0.01	0.02	0.04	0.06	0.1	0.24	1.09	0.06
	Eisenbahnlinien 2sp Tun- nel	1	8640	0.02	0.04	0.14	1.32	1.35	1.39	2.92	1.21
	Eisenbahnlinien 1sp Tun- nel	2	16953	0.02	0.06	0.08	0.11	0.18	0.3	0.76	0.1
	Tramlinien	1	8640	0.03	0.04	0.06	0.09	0.13	0.25	0.77	0.07
	220/380 kV Freileitung	6	51739	0.01	0.02	0.07	0.35	1.37	1.81	2.07	1.3
	36-150 kV Freileitung	5	42371	0.01	0.02	0.05	0.17	0.34	0.6	0.74	0.29
	1-36 kV Freileitung	5	43158	0.01	0.02	0.02	0.08	0.2	0.45	0.8	0.18
	Trafostationen	1	8640	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.15	0.45	0.04
	keine NF-Primärquelle	56	488258	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.18	1.26	0.05

Tabelle 42: Prozentuale Beiträge verschiedener NF-MF Quellen zur magnetischen Gesamtflussdichte, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 30 dargestellt. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (8). Es werden folgende Quellenkategorien berücksichtigt: Eisenbahnstrom, Stromversorgung und Tram-Rippelstrom. N bezeichnet die Anzahl an Standortmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der quadratische Mittelwert (RMS) der magnetischen Gesamtflussdichte wird anhand von Gleichung (6) berechnet. Bei den Bezeichnungen für die Primärquelle bedeutet 1sp einspurig und 2sp bedeutet zweispurig.

Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (μ T)	Eisen- bahnstrom (%)	Stromver- sorgung (%)	Tram-Rip- pelstrom (%)
	Eisenbahnlinien 2sp	7	421	0.19	97	2.9	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	6	362	0.12	84.6	13.2	2.2
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	60	0.06	93.4	5.7	1
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	2	120	0.2	74.5	25.4	0.1
	Tramlinien	1	60	0.04	65.5	31.6	3
	220/380 kV Freileitung	6	360	0.76	0	100	0
	36-150 kV Freileitung	5	301	0.33	3.4	96.6	0

	1-36 kV Freileitung	5	300	0.26	0.5	99.5	0.1
	Trafostationen	1	60	0.1	23.1	76.7	0.2
	keine NF-Primärquelle	56	3363	0.09	38.5	60.8	0.7
mobile Messung	Primärquelle	N	n	RMS (μT)	Eisen- bahnstrom (%)	Stromver- sorgung (%)	Tram-Rip- pelstrom (%)
	Eisenbahnlinien 2sp	7	701	0.17	95.9	3.9	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	6	596	0.1	81.2	17.4	1.4
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	100	0.07	82.1	17	0.9
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	2	201	0.25	78.8	21.1	0.1
	Tramlinien	1	100	0.09	66.4	30.7	3
	220/380 kV Freileitung	6	601	0.77	0	100	0
	36-150 kV Freileitung	5	460	0.24	5.3	94.7	0.1
	1-36 kV Freileitung	5	501	0.56	0.2	99.8	0
	Trafostationen	1	100	0.08	23.7	75.9	0.4
	keine NF-Primärquelle	56	5520	0.1	33.5	66	0.5
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (μT)	Eisen- bahnstrom (%)	Stromver- sorgung (%)	Tram-Rip- pelstrom (%)
	Eisenbahnlinien 2sp	7	60480	0.17	55.7	44.2	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	6	51818	0.11	66.3	29.5	4.2
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	8640	1.15	0.6	99.4	0
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	2	16953	0.16	58.7	41.2	0.1
	Tramlinien	1	8640	0.13	78.7	17.4	4
	220/380 kV Freileitung	6	51739	0.91	0	100	0
	36-150 kV Freileitung	5	42371	0.29	2.4	97.5	0
	1-36 kV Freileitung	5	43158	0.21	0.8	99.1	0.1
	Trafostationen	1	8640	0.09	12.2	87.5	0.3
	keine NF-Primärquelle	56	488258	0.09	31.1	68.3	0.6

Tabelle 43: Minimum, Mittelwert und Maximum des arithmetischen Mittelwertes der magnetischen Flussdichte für jede Primärquelle. Die Berechnung der arithmetischen Mittelwerte erfolgt dabei nach Gleichung (5) und der Mittelwert wird nach Gleichung (10) berechnet. Die Daten sind in Abbildung 31 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

Kurzeitmessung	Primärquelle	N	n	Minimum des arithmetischen Mittels (μT)	Mittelwert des Arithmetischen Mittels (μT)	Maximum des arithmetischen Mittels (μT)
	Eisenbahnlinien 2sp	7	421	0.04	0.14	0.27
	Eisenbahnlinien 1sp	6	362	0.05	0.09	0.22
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	60	0.06	0.06	0.06
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	2	120	0.08	0.17	0.25
	Tramlinien	1	60	0.04	0.04	0.04
	220/380 kV Freileitung	6	360	0.05	0.49	1.66
	36-150 kV Freileitung	5	301	0.02	0.24	0.66
	1-36 kV Freileitung	5	300	0.02	0.18	0.55
	Trafostationen	1	60	0.09	0.09	0.09
	keine NF-Primärquelle	56	3363	0.02	0.06	0.37
mobile Messung	Primärquelle	N	n	Minimum des arithmetischen Mittels (μT)	Mittelwert des Arithmetischen Mittels (μT)	Maximum des arithmetischen Mittels (μT)
	Eisenbahnlinien 2sp	7	701	0.04	0.13	0.23
	Eisenbahnlinien 1sp	6	596	0.04	0.08	0.18
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	100	0.06	0.06	0.06
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	2	201	0.14	0.19	0.25
	Tramlinien	1	100	0.07	0.07	0.07
	220/380 kV Freileitung	6	601	0.05	0.52	1.48
	36-150 kV Freileitung	5	460	0.02	0.18	0.42
	1-36 kV Freileitung	5	501	0.02	0.3	1.19
	Trafostationen	1	100	0.08	0.08	0.08
	keine NF-Primärquelle	56	5520	0.02	0.07	0.38

Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Minimum des arithmetischen Mittels (μT)	Mittelwert des Arithmetischen Mittels (μT)	Maximum des arithmetischen Mittels (μT)
	Eisenbahnlinien 2sp	7	60480	0.05	0.13	0.33
	Eisenbahnlinien 1sp	6	51818	0.04	0.08	0.14
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	8640	0.98	0.98	0.98
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	2	16953	0.09	0.14	0.19
	Tramlinien	1	8640	0.11	0.11	0.11
	220/380 kV Freileitung	6	51739	0.03	0.62	1.65
	36-150 kV Freileitung	5	42371	0.03	0.22	0.52
	1-36 kV Freileitung	5	43158	0.02	0.14	0.41
	Trafostationen	1	8640	0.08	0.08	0.08
	keine NF-Primärquelle	56	488258	0.02	0.06	0.25

V Statistische Kenngrößen der stationären Dauermessungen

5.1 Mobilfunkantennenstandorte in der Umgebung der Dauermessstationen

LZM Standort G+P Neuenburg

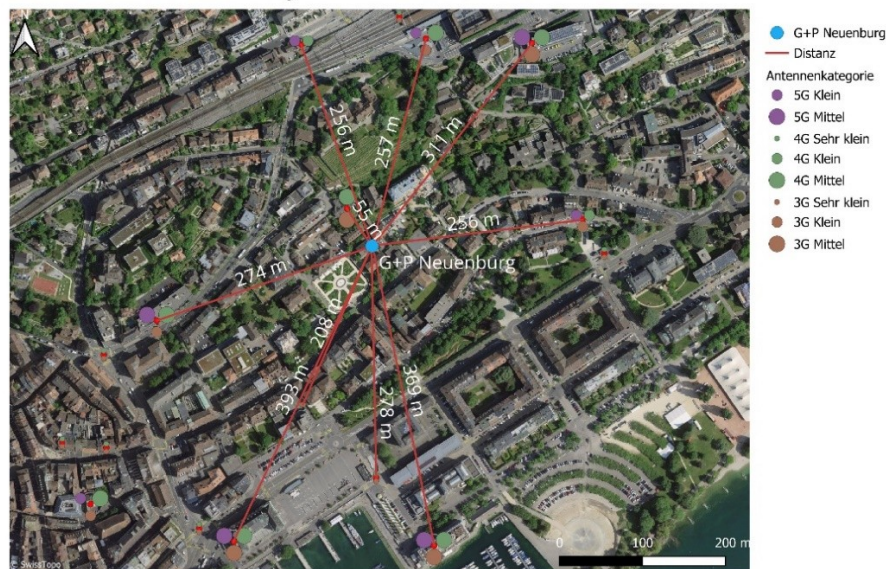


Abbildung 49: Mobilfunkantennenstandorte in der näheren Umgebung der Dauermessstation in Neuenburg, klassiert nach Mobilfunkstandard und Sendeleistung [21]. Die roten Distanzlinien sind als kürzeste horizontale Abstände zwischen der Antenne und dem Feldstärkesensor aufzufassen. Höhenunterschiede werden nicht berücksichtigt. Da keine Informationen über die azimutale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

LZM Standort G+P Deitingen



Abbildung 50: Mobilfunkantennenstandorte in der näheren Umgebung der Dauermessstation in Deitingen, klassiert nach Mobilfunkstandard und Sendeleistung [21]. Die roten Distanzlinien sind als kürzeste horizontale Abstände zwischen der Antenne und dem Feldstärkesensor aufzufassen. Höhenunterschiede werden nicht berücksichtigt. Da keine Informationen über die azimutale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

LZM Standort G+P Aarau

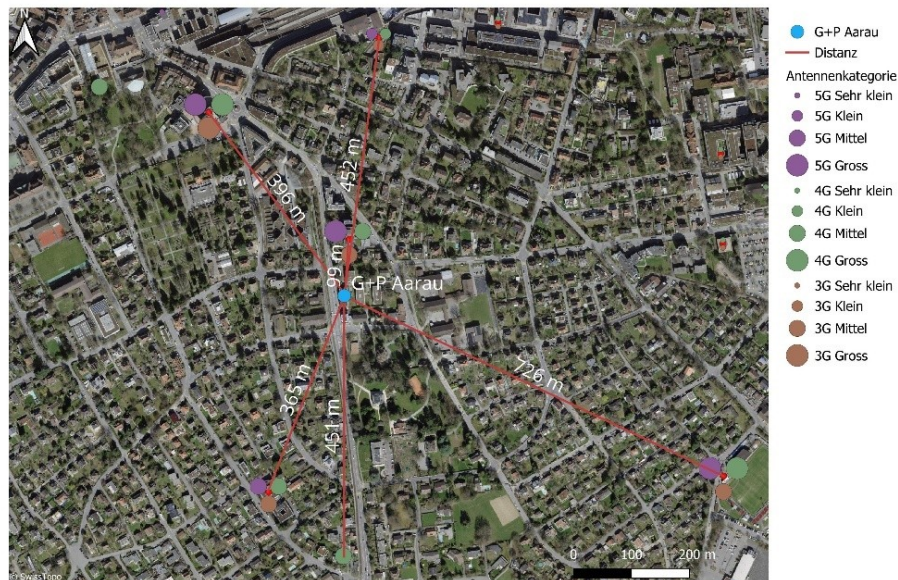


Abbildung 51: Mobilfunkantennenstandorte in der näheren Umgebung der Dauermessstation in Aarau, klassiert nach Mobilfunkstandard und Sendeleistung [21]. Die roten Distanzlinien sind als kürzeste horizontale Abstände zwischen der Antenne und dem Feldstärkesensor aufzufassen. Höhenunterschiede werden nicht berücksichtigt. Da keine Informationen über die azimuthale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

LZM Standort TPH Allschwil

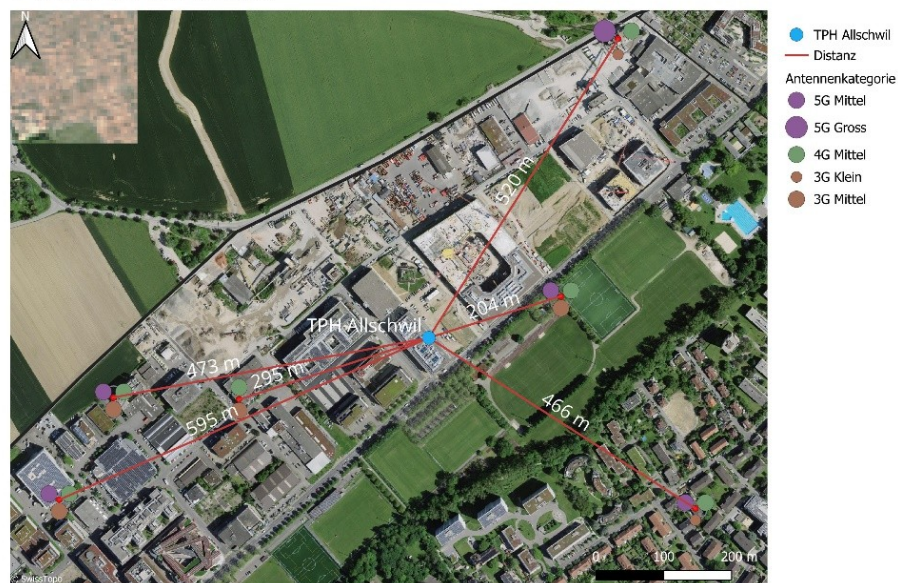


Abbildung 52: Mobilfunkantennenstandorte in der näheren Umgebung der Dauermessstation in Allschwil, klassiert nach Mobilfunkstandard und Sendeleistung [21]. Die roten Distanzlinien sind als kürzeste horizontale Abstände zwischen der Antenne und dem Feldstärkesensor aufzufassen. Höhenunterschiede werden nicht berücksichtigt. Da keine Informationen über die azimuthale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

LZM Standort FaW ETH



Abbildung 53: Mobilfunkantennenstandorte in der näheren Umgebung der Dauermessstation in Zürich, klassiert nach Mobilfunkstandard und Sendeleistung [21]. Die roten Distanzlinien sind als kürzeste horizontale Abstände zwischen der Antenne und dem Feldstärkesensor aufzufassen. Höhenunterschiede werden nicht berücksichtigt. Da keine Informationen über die azimuthale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

5.2 Zeitlicher Feldstärkeverlauf gruppiert nach Funkdienstgruppen

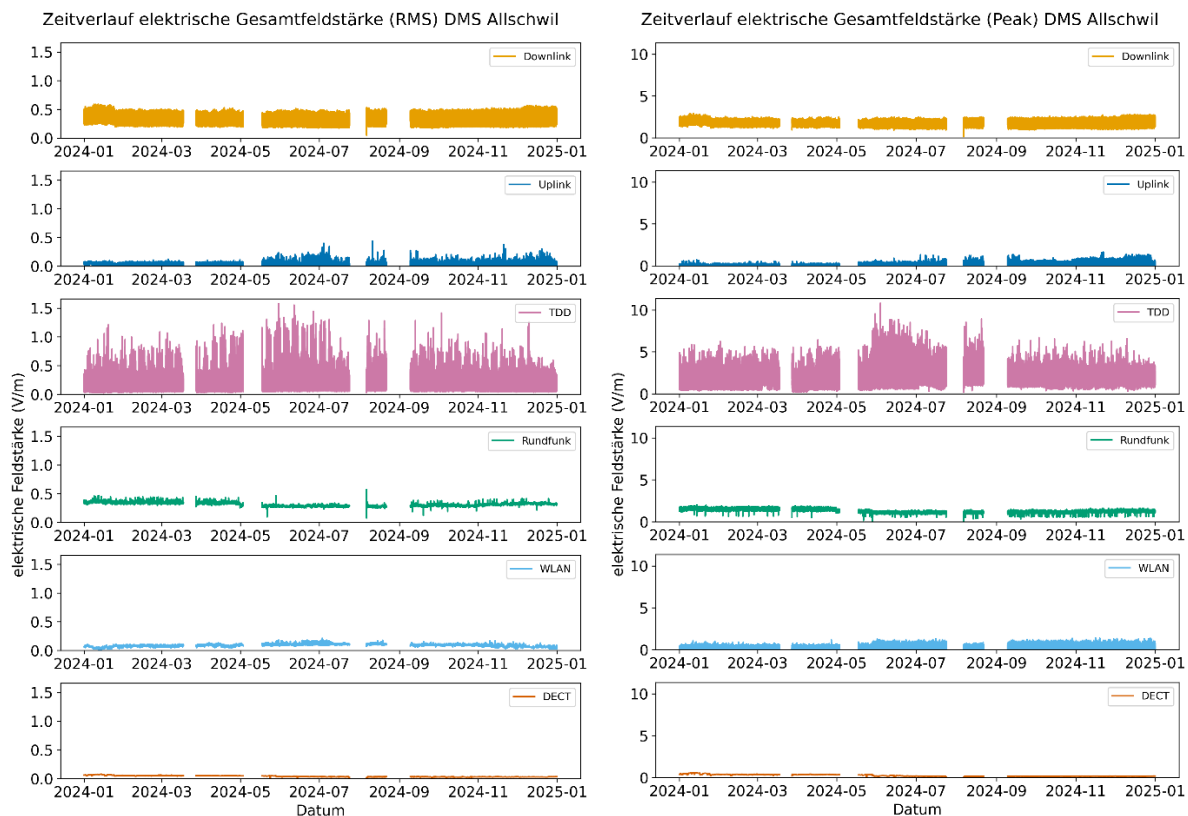


Abbildung 54: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2024 am TPH Standort in Allschwil, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt.

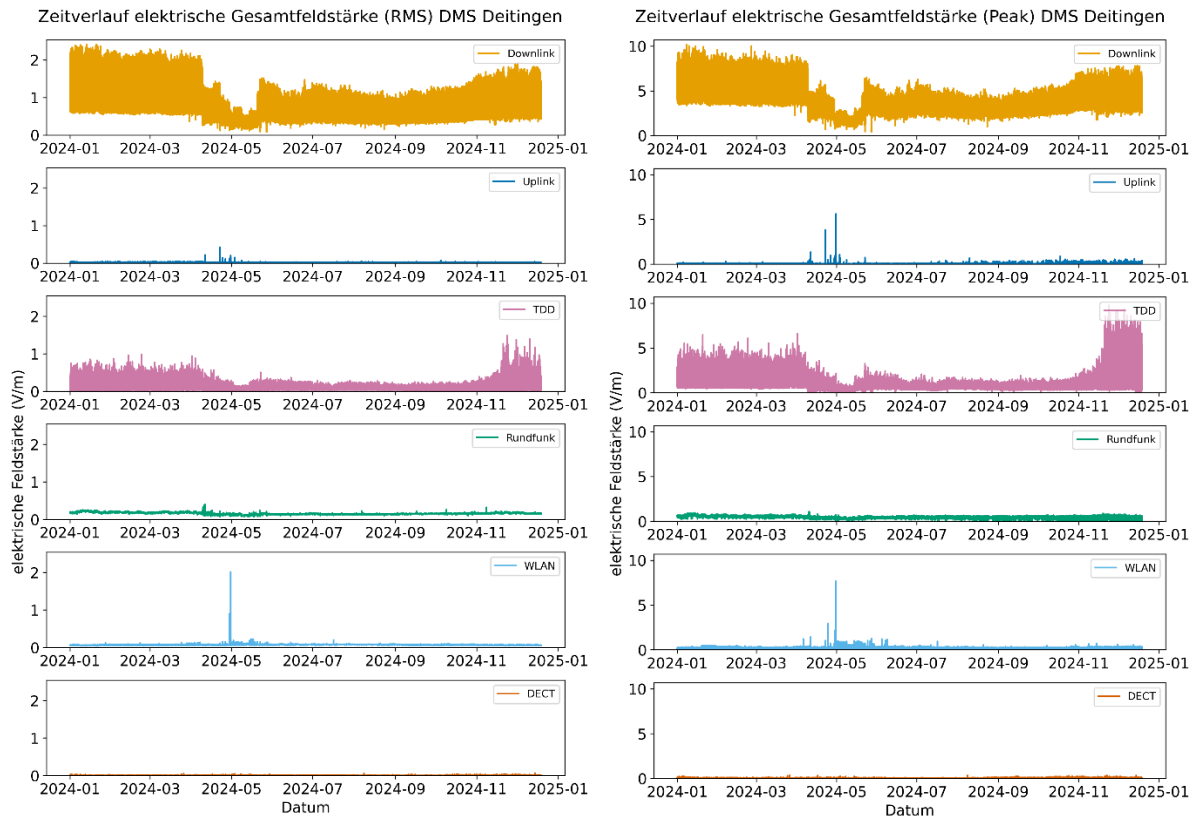


Abbildung 55: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2024 am G+P Standort in Deitingen, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt.

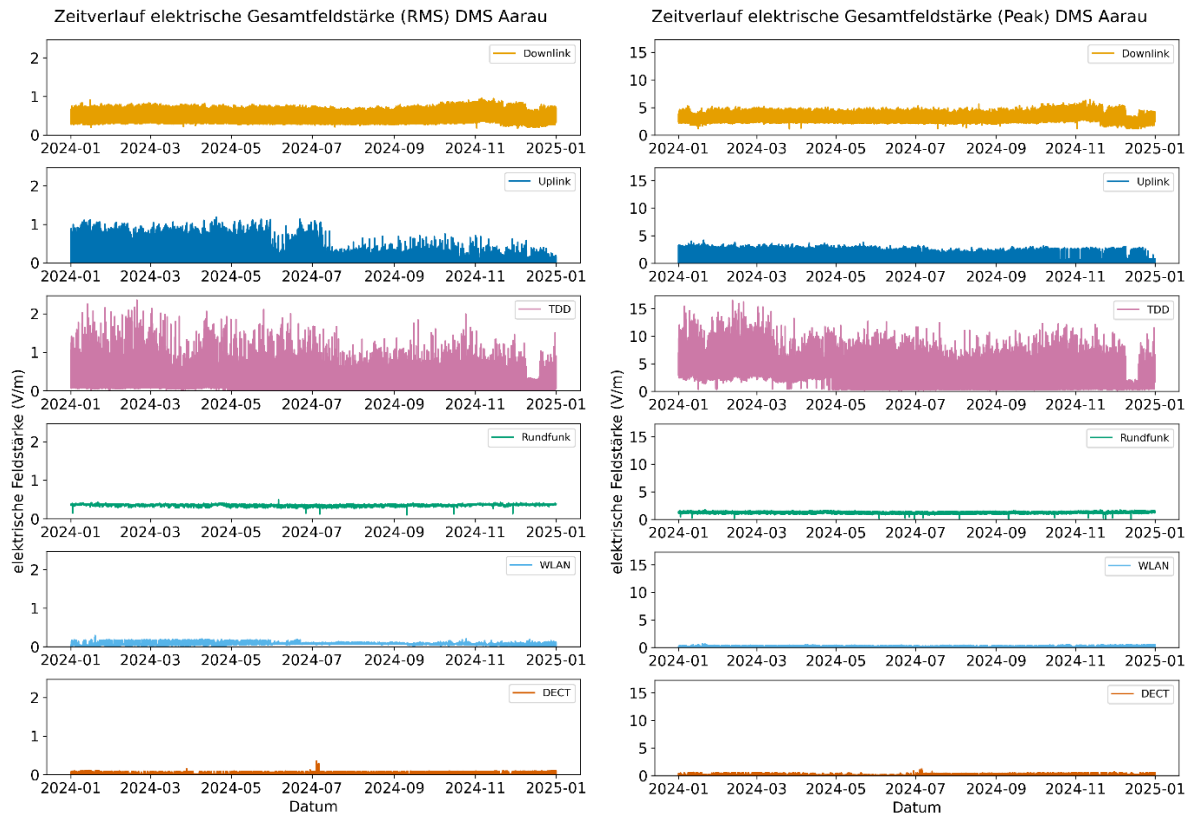


Abbildung 56: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2024 am G+P Standort in Aarau, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt.

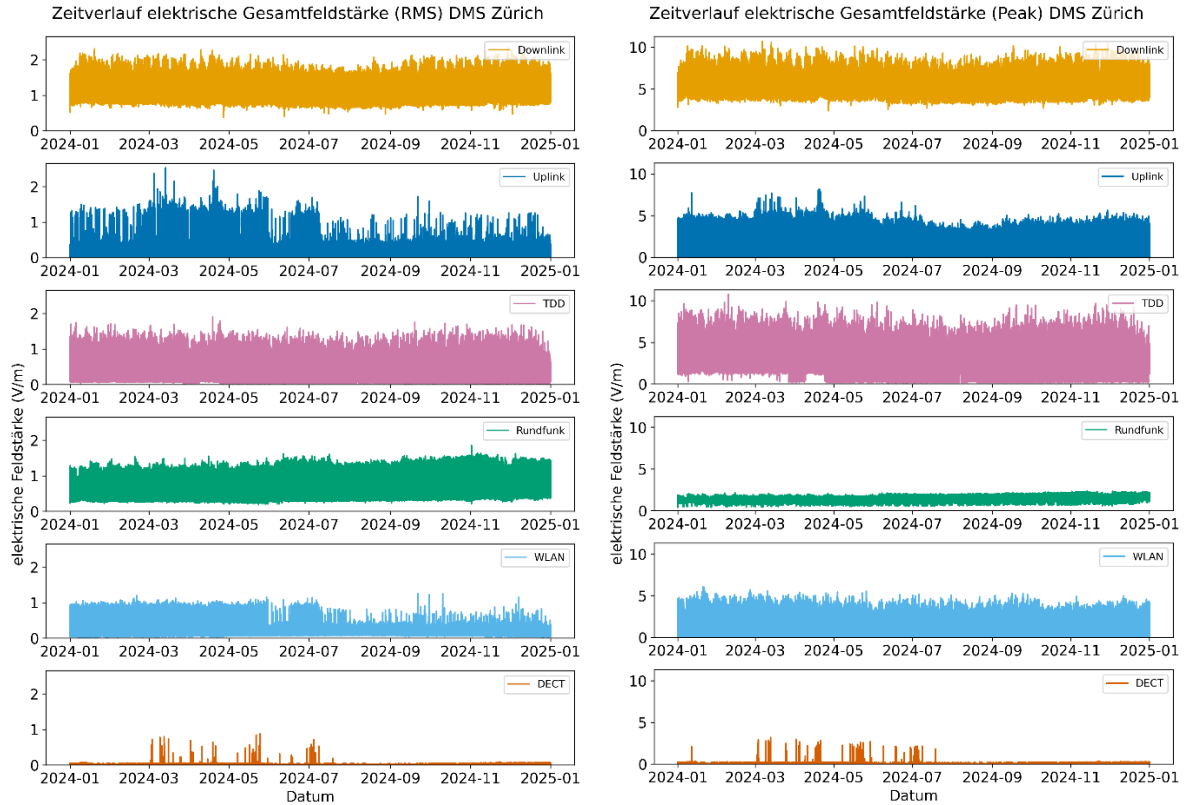


Abbildung 57: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2024 am Fields at Work Standort in Zürich, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt. Bei der Messung in Zürich kann eine weitere Beeinflussung durch Immissionseinträge aus dem ISM-Band nicht ausgeschlossen werden. Die Feldstärkewerte für die beiden oben genannten Bänder und deren Dienstkategorien sind für die drei Standorte mit Mobilfunkmodem mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

5.3 Statistische Kenngrössen

Tabelle 44: Statistische Kenngrössen für die Verteilung der elektrischen Feldstärke (RMS) aller fünf Dauermessstationen. Die Kenngrössen werden für die Quellenkategorien Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT angegeben. Die Werte für die Verteilung der Gesamtfeldstärke sind unter Gesamt gelistet. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (1). Die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Quellenkategorie ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet.

			HF-EMF-Exposition (RMS) (V/m)							
Neuenburg	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2938767	0.06	0.21	0.26	0.29	0.35	0.47	1.06	0.09
	Uplink	2938767	0	0.01	0.01	0.01	0.09	0.15	0.28	0.08
	TDD	2938767	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.11	0.59	0.03
	Rundfunk	2938767	0.06	0.08	0.09	0.12	0.22	0.25	0.35	0.13
	WLAN	2938767	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.1	0.22	0.03
	DECT	2938767	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	0.12	0.01
	Gesamt	2938767	0.2	0.28	0.32	0.36	0.41	0.52	1.1	0.09
Deitingen	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	3053145	0.08	0.31	0.43	0.58	0.82	1.29	2.42	0.39
	Uplink	3053145	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.42	0
	TDD	3053145	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.13	1.48	0.02
	Rundfunk	3053145	0.06	0.12	0.14	0.15	0.17	0.21	0.4	0.03
	WLAN	3053145	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	2.02	0.01
	DECT	3053145	0	0	0	0	0.01	0.01	0.06	0.01
	Gesamt	3053145	0.16	0.34	0.46	0.61	0.84	1.31	2.44	0.38
Aarau	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	3162964	0.17	0.32	0.41	0.49	0.55	0.64	0.95	0.14
	Uplink	3162964	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.35	1.18	0.02
	TDD	3162964	0.01	0.04	0.1	0.13	0.18	0.26	2.35	0.08
	Rundfunk	3162964	0.1	0.31	0.34	0.36	0.37	0.38	0.49	0.03
	WLAN	3162964	0.01	0.02	0.05	0.06	0.07	0.1	0.29	0.02
	DECT	3162964	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.35	0
	Gesamt	3162964	0.39	0.49	0.57	0.63	0.7	0.81	2.46	0.13

Allschwil	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2680333	0.05	0.21	0.27	0.32	0.37	0.43	0.59	0.1
	Uplink	2680333	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.44	0.01
	TDD	2680333	0.02	0.05	0.08	0.1	0.12	0.18	1.58	0.04
	Rundfunk	2680333	0.07	0.27	0.29	0.31	0.34	0.36	0.57	0.05
	WLAN	2680333	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.12	0.21	0.03
	DECT	2680333	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.02
	Gesamt	2680333	0.14	0.39	0.44	0.47	0.51	0.57	1.65	0.07
Zürich	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	3162997	0.38	0.74	0.85	1.04	1.32	1.62	2.34	0.47
	Uplink	3162997	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.33	2.53	0.02
	TDD	3162997	0.02	0.04	0.11	0.17	0.24	0.43	1.9	0.13
	Rundfunk	3162997	0.19	0.26	0.29	0.31	0.34	0.39	1.86	0.05
	WLAN	3162997	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.26	1.26	0.03
	DECT	3162997	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.88	0.03
	Gesamt	3162997	0.53	0.82	0.94	1.14	1.41	1.72	2.97	0.47

Tabelle 45: Statistische Kenngrössen für die Verteilung der elektrischen Feldstärke (Peak) aller fünf Dauermessstationen. Die Kenngrössen werden für die Quellenkategorien Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT angegeben. Die Werte für die Verteilung der Gesamtfeldstärke sind unter Gesamt gelistet. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (1). Die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Quellenkategorie ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet.

			HF-EMF-Exposition (Peak) (V/m)							
Neuenburg	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2938767	0.36	1.09	1.28	1.49	1.81	2.35	4.71	0.53
	Uplink	2938767	0	0	0.01	0.01	0.11	0.17	1.63	0.1
	TDD	2938767	0.01	0.24	0.33	0.45	0.59	0.97	3.53	0.26
	Rundfunk	2938767	0.01	0.16	0.23	0.38	0.82	1.01	1.62	0.59
	WLAN	2938767	0.01	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	2.8	0.03
	DECT	2938767	0.02	0.1	0.17	0.24	0.31	0.39	0.66	0.14
	Gesamt	2938767	0.83	1.33	1.5	1.72	2.04	2.55	4.84	0.54
Deitingen	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	3053145	0.41	1.92	2.74	3.55	4.68	6.26	10.18	1.94
	Uplink	3053145	0	0.01	0.02	0.02	0.04	0.07	5.61	0.02
	TDD	3053145	0.03	0.3	0.47	0.62	1.07	2.34	9.81	0.6
	Rundfunk	3053145	0	0.29	0.36	0.42	0.5	0.61	1.06	0.14
	WLAN	3053145	0.01	0.05	0.08	0.14	0.2	0.3	7.67	0.12
	DECT	3053145	0	0	0.02	0.02	0.03	0.05	0.37	0.01
	Gesamt	3053145	0.58	2.03	2.83	3.65	4.96	6.55	11.16	2.13
Aarau	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	3162964	1.13	2.36	2.75	3.02	3.33	3.81	6.43	0.58
	Uplink	3162964	0	0.01	0.02	0.03	0.24	1.78	4.15	0.22
	TDD	3162964	0.14	0.42	2.69	3.44	4.06	5.13	16.44	1.37
	Rundfunk	3162964	0.06	1	1.11	1.19	1.27	1.36	1.72	0.16
	WLAN	3162964	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.19	0.63	0.03
	DECT	3162964	0.01	0.09	0.11	0.13	0.2	0.33	1.19	0.09
	Gesamt	3162964	1.73	2.81	4.19	4.84	5.4	6.29	16.9	1.21

Allschwil	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2680333	0.19	1.28	1.52	1.7	1.87	2.15	2.93	0.35
	Uplink	2680333	0	0.01	0.01	0.02	0.06	0.23	1.64	0.05
	TDD	2680333	0.22	0.66	1.25	1.51	1.76	2.23	10.82	0.51
	Rundfunk	2680333	0.05	1.02	1.11	1.21	1.45	1.58	2.01	0.34
	WLAN	2680333	0.01	0.05	0.07	0.08	0.1	0.16	1.42	0.03
	DECT	2680333	0.02	0.15	0.17	0.18	0.34	0.44	0.56	0.17
	Gesamt	2680333	0.52	2.18	2.43	2.64	2.85	3.2	11	0.42
Zürich	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	3162997	2.38	3.97	4.54	5.22	6	7.06	10.67	1.46
	Uplink	3162997	0	0.02	0.05	0.08	0.68	3.64	8.14	0.63
	TDD	3162997	0.1	0.3	1.77	2.39	3.14	4.02	10.76	1.37
	Rundfunk	3162997	0.39	0.86	0.99	1.08	1.19	1.36	2.34	0.2
	WLAN	3162997	0.01	0.09	0.22	0.36	0.66	2.43	6.11	0.44
	DECT	3162997	0.04	0.05	0.06	0.09	0.13	0.17	3.2	0.07
	Gesamt	3162997	2.81	4.32	5.26	6.13	7.03	8.2	13.21	1.77

Tabelle 46: Vergleich der statistischen Kenndaten der HF-EMF Exposition (RMS) aller Dauermessstationen zwischen den Jahren 2024 und 2023, wie in Abbildung 45 gezeigt. Die Kenngrößen werden für die Quellenkategorien Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT angegeben. Die Werte für die Verteilung der Gesamtfeldstärke sind unter Gesamt gelistet. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (1). Die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Quellenkategorie ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet.

				HF-EMF-Exposition (RMS) (V/m)							
Neuenburg	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	2938767	0.06	0.21	0.26	0.29	0.35	0.47	1.06	0.09
		2023	2621255	0.09	0.14	0.2	0.24	0.28	0.37	1.31	0.08
	Uplink	2024	2938767	0	0.01	0.01	0.01	0.09	0.15	0.28	0.08
		2023	2621255	0	0	0.01	0.01	0.05	0.14	0.58	0.04
	TDD	2024	2938767	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.11	0.59	0.03
		2023	2621255	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.09	0.39	0.03
	Rundfunk	2024	2938767	0.06	0.08	0.09	0.12	0.22	0.25	0.35	0.13
		2023	2621255	0.07	0.09	0.09	0.1	0.12	0.13	0.16	0.03
	WLAN	2024	2938767	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.1	0.22	0.03
		2023	2621255	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.09	0.25	0.05
	DECT	2024	2938767	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	0.12	0.01
		2023	2621255	0	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.1	0.01
	Gesamt	2024	2938767	0.2	0.28	0.32	0.36	0.41	0.52	1.1	0.09
		2023	2621255	0.14	0.19	0.25	0.28	0.32	0.41	1.32	0.07
Deitingen	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	3053145	0.08	0.31	0.43	0.58	0.82	1.29	2.42	0.39
		2023	2837281	0.11	0.38	0.49	0.63	0.81	1.3	2.37	0.32
	Uplink	2024	3053145	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.42	0
		2023	2837281	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.01
	TDD	2024	3053145	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.13	1.48	0.02
		2023	2837281	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.09	1.04	0.02
	Rundfunk	2024	3053145	0.06	0.12	0.14	0.15	0.17	0.21	0.4	0.03
		2023	2837281	0.07	0.1	0.12	0.13	0.15	0.18	0.29	0.03
	WLAN	2024	3053145	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	2.02	0.01
		2023	2837281	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.18	0.02

	DECT	2024	3053145	0	0	0	0	0.01	0.01	0.06	0.01
		2023	2837281	0	0	0	0	0.01	0.01	0.08	0.01
	Gesamt	2024	3053145	0.16	0.34	0.46	0.61	0.84	1.31	2.44	0.38
		2023	2837281	0.19	0.4	0.51	0.65	0.83	1.31	2.38	0.32
Aarau	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	3162964	0.17	0.32	0.41	0.49	0.55	0.64	0.95	0.14
		2023	3137744	0.2	0.32	0.4	0.48	0.55	0.63	1.24	0.15
	Uplink	2024	3162964	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.35	1.18	0.02
		2023	3137744	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.15	1.36	0.01
	TDD	2024	3162964	0.01	0.04	0.1	0.13	0.18	0.26	2.35	0.08
		2023	3137744	0.02	0.09	0.11	0.13	0.16	0.26	2.59	0.05
	Rundfunk	2024	3162964	0.1	0.31	0.34	0.36	0.37	0.38	0.49	0.03
		2023	3137744	0.1	0.3	0.34	0.36	0.38	0.4	0.63	0.04
	WLAN	2024	3162964	0.01	0.02	0.05	0.06	0.07	0.1	0.29	0.02
		2023	3137744	0.01	0.02	0.03	0.06	0.07	0.09	0.41	0.04
	DECT	2024	3162964	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.35	0
		2023	3137744	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.44	0.01
	Gesamt	2024	3162964	0.39	0.49	0.57	0.63	0.7	0.81	2.46	0.13
		2023	3137744	0.38	0.5	0.56	0.62	0.68	0.77	2.67	0.12

Allschwil	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	2680333	0.05	0.21	0.27	0.32	0.37	0.43	0.59	0.1
		2023	2780519	0.17	0.25	0.34	0.39	0.43	0.48	0.63	0.09
	Uplink	2024	2680333	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.44	0.01
		2023	2780519	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.31	0.01
	TDD	2024	2680333	0.02	0.05	0.08	0.1	0.12	0.18	1.58	0.04
		2023	2780519	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.14	1.22	0.04
	Rundfunk	2024	2680333	0.07	0.27	0.29	0.31	0.34	0.36	0.57	0.05
		2023	2780519	0.1	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.5	0.02
	WLAN	2024	2680333	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.12	0.21	0.03
		2023	2780519	0.01	0.03	0.06	0.08	0.1	0.12	0.22	0.04
Zürich	DECT	2024	2680333	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.02
		2023	2780519	0.01	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.19	0.01
	Gesamt	2024	2680333	0.14	0.39	0.44	0.47	0.51	0.57	1.65	0.07
		2023	2780519	0.37	0.42	0.48	0.52	0.56	0.6	1.33	0.08
	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	3162997	0.38	0.74	0.85	1.04	1.32	1.62	2.34	0.47
		2023	3153757	0.4	0.74	0.86	1.06	1.33	1.62	2.38	0.47
	Uplink	2024	3162997	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.33	2.53	0.02
		2023	3153757	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	1.99	0.02
	TDD	2024	3162997	0.02	0.04	0.11	0.17	0.24	0.43	1.9	0.13
		2023	3153757	0.02	0.07	0.11	0.15	0.21	0.39	2.01	0.1
	Rundfunk	2024	3162997	0.19	0.26	0.29	0.31	0.34	0.39	1.86	0.05
		2023	3153757	0.15	0.27	0.28	0.3	0.35	0.42	2	0.07
	WLAN	2024	3162997	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.26	1.26	0.03
		2023	3153757	0.01	0.03	0.06	0.07	0.09	0.1	1.14	0.03
	DECT	2024	3162997	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.88	0.03
		2023	3153757	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.02
	Gesamt	2024	3162997	0.53	0.82	0.94	1.14	1.41	1.72	2.97	0.47
		2023	3153757	0.53	0.81	0.94	1.13	1.4	1.69	2.54	0.46

Tabelle 47: Vergleich der statistischen Kenndaten der HF-EMF Exposition (Peak) aller Dauermessstationen zwischen den Jahren 2024 und 2023, wie in Abbildung 46 gezeigt. Die Kenngrößen werden für die Quellenkategorien Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT angegeben. Die Werte für die Verteilung der Gesamtfeldstärke sind unter Gesamt gelistet. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (1). Die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Quellenkategorie ist unter n gelistet. Der Interquartilsabstand (IQR) bezeichnet das Intervall, in dem sich 50% der mittleren Datenwerte befinden. Die Quantile werden mit Q bezeichnet.

				HF-EMF-Exposition (Peak) (V/m)							
Neuenburg	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	2938767	0.36	1.09	1.28	1.49	1.81	2.35	4.71	0.53
		2023	2621255	0.43	0.74	0.96	1.14	1.4	1.87	3.74	0.44
	Uplink	2024	2938767	0	0	0.01	0.01	0.11	0.17	1.63	0.1
		2023	2621255	0	0	0.01	0.01	0.07	0.16	2.53	0.06
	TDD	2024	2938767	0.01	0.24	0.33	0.45	0.59	0.97	3.53	0.26
		2023	2621255	0.01	0.13	0.26	0.36	0.51	0.85	4.88	0.25
	Rundfunk	2024	2938767	0.01	0.16	0.23	0.38	0.82	1.01	1.62	0.59
		2023	2621255	0.02	0.15	0.22	0.27	0.31	0.37	0.62	0.09
	WLAN	2024	2938767	0.01	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	2.8	0.03
		2023	2621255	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	1.61	0.02
	DECT	2024	2938767	0.02	0.1	0.17	0.24	0.31	0.39	0.66	0.14
		2023	2621255	0.01	0.1	0.13	0.16	0.22	0.34	0.7	0.09
	Gesamt	2024	2938767	0.83	1.33	1.5	1.72	2.04	2.55	4.84	0.54
		2023	2621255	0.48	0.88	1.08	1.27	1.54	2.02	4.96	0.46
Deitingen	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	3053145	0.41	1.92	2.74	3.55	4.68	6.26	10.18	1.94
		2023	2837281	0.63	2.4	2.94	3.75	4.64	6.17	9.7	1.7
	Uplink	2024	3053145	0	0.01	0.02	0.02	0.04	0.07	5.61	0.02
		2023	2837281	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.34	0.02
	TDD	2024	3053145	0.03	0.3	0.47	0.62	1.07	2.34	9.81	0.6
		2023	2837281	0.02	0.25	0.56	0.76	1	1.59	7.11	0.44
	Rundfunk	2024	3053145	0	0.29	0.36	0.42	0.5	0.61	1.06	0.14
		2023	2837281	0	0.25	0.31	0.36	0.42	0.53	0.86	0.11
	WLAN	2024	3053145	0.01	0.05	0.08	0.14	0.2	0.3	7.67	0.12
		2023	2837281	0.01	0.04	0.06	0.11	0.16	0.24	1.06	0.1

	DECT	2024	3053145	0	0	0.02	0.02	0.03	0.05	0.37	0.01
		2023	2837281	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.29	0.01
	Gesamt	2024	3053145	0.58	2.03	2.83	3.65	4.96	6.55	11.16	2.13
		2023	2837281	0.79	2.54	3.07	3.86	4.78	6.28	9.77	1.71
Aarau	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	3162964	1.13	2.36	2.75	3.02	3.33	3.81	6.43	0.58
		2023	3137744	1.05	2.41	2.71	2.94	3.2	3.62	5.4	0.49
	Uplink	2024	3162964	0	0.01	0.02	0.03	0.24	1.78	4.15	0.22
		2023	3137744	0	0.01	0.02	0.03	0.15	0.84	4.98	0.13
	TDD	2024	3162964	0.14	0.42	2.69	3.44	4.06	5.13	16.44	1.37
		2023	3137744	0.31	2.62	3.29	3.79	4.39	5.47	18.07	1.1
	Rundfunk	2024	3162964	0.06	1	1.11	1.19	1.27	1.36	1.72	0.16
		2023	3137744	0.1	0.97	1.1	1.21	1.28	1.39	1.73	0.18
	WLAN	2024	3162964	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.19	0.63	0.03
		2023	3137744	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.14	3.96	0.03
	DECT	2024	3162964	0.01	0.09	0.11	0.13	0.2	0.33	1.19	0.09
		2023	3137744	0.01	0.09	0.11	0.13	0.16	0.3	1.44	0.05
	Gesamt	2024	3162964	1.73	2.81	4.19	4.84	5.4	6.29	16.9	1.21
		2023	3137744	2.53	4.05	4.58	5	5.51	6.43	18.34	0.93

Allschwil	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	2680333	0.19	1.28	1.52	1.7	1.87	2.15	2.93	0.35
		2023	2780519	0.92	1.57	1.81	1.97	2.12	2.35	3.15	0.31
	Uplink	2024	2680333	0	0.01	0.01	0.02	0.06	0.23	1.64	0.05
		2023	2780519	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	1.34	0.01
	TDD	2024	2680333	0.22	0.66	1.25	1.51	1.76	2.23	10.82	0.51
		2023	2780519	0.23	0.67	0.93	1.22	1.48	1.83	6.2	0.55
	Rundfunk	2024	2680333	0.05	1.02	1.11	1.21	1.45	1.58	2.01	0.34
		2023	2780519	0.21	1.24	1.33	1.4	1.46	1.55	1.92	0.13
	WLAN	2024	2680333	0.01	0.05	0.07	0.08	0.1	0.16	1.42	0.03
		2023	2780519	0.01	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	4.87	0.02
	DECT	2024	2680333	0.02	0.15	0.17	0.18	0.34	0.44	0.56	0.17
		2023	2780519	0.03	0.32	0.38	0.42	0.45	0.5	1.02	0.07
	Gesamt	2024	2680333	0.52	2.18	2.43	2.64	2.85	3.2	11	0.42
		2023	2780519	1.74	2.32	2.57	2.76	2.95	3.21	6.77	0.38
Zürich	Primärquelle	Jahr	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Downlink	2024	3162997	2.38	3.97	4.54	5.22	6	7.06	10.67	1.46
		2023	3153757	2.1	3.95	4.55	5.25	5.98	6.95	10.25	1.43
	Uplink	2024	3162997	0	0.02	0.05	0.08	0.68	3.64	8.14	0.63
		2023	3153757	0	0.03	0.06	0.08	0.1	0.62	8.25	0.04
	TDD	2024	3162997	0.1	0.3	1.77	2.39	3.14	4.02	10.76	1.37
		2023	3153757	0.15	1.42	1.83	2.26	2.92	3.73	10.36	1.09
	Rundfunk	2024	3162997	0.39	0.86	0.99	1.08	1.19	1.36	2.34	0.2
		2023	3153757	0.02	0.88	0.99	1.07	1.21	1.39	2.48	0.22
	WLAN	2024	3162997	0.01	0.09	0.22	0.36	0.66	2.43	6.11	0.44
		2023	3153757	0.01	0.08	0.18	0.29	0.47	0.96	6.38	0.29
	DECT	2024	3162997	0.04	0.05	0.06	0.09	0.13	0.17	3.2	0.07
		2023	3153757	0.04	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.54	0.06
	Gesamt	2024	3162997	2.81	4.32	5.26	6.13	7.03	8.2	13.21	1.77
		2023	3153757	2.85	4.57	5.25	5.96	6.72	7.74	12.46	1.47

5.4 Monatlich aggregierte Feldstärken der Dauermessstationen

Verteilung elektrische Gesamtfeldstärke nach Monat (RMS)

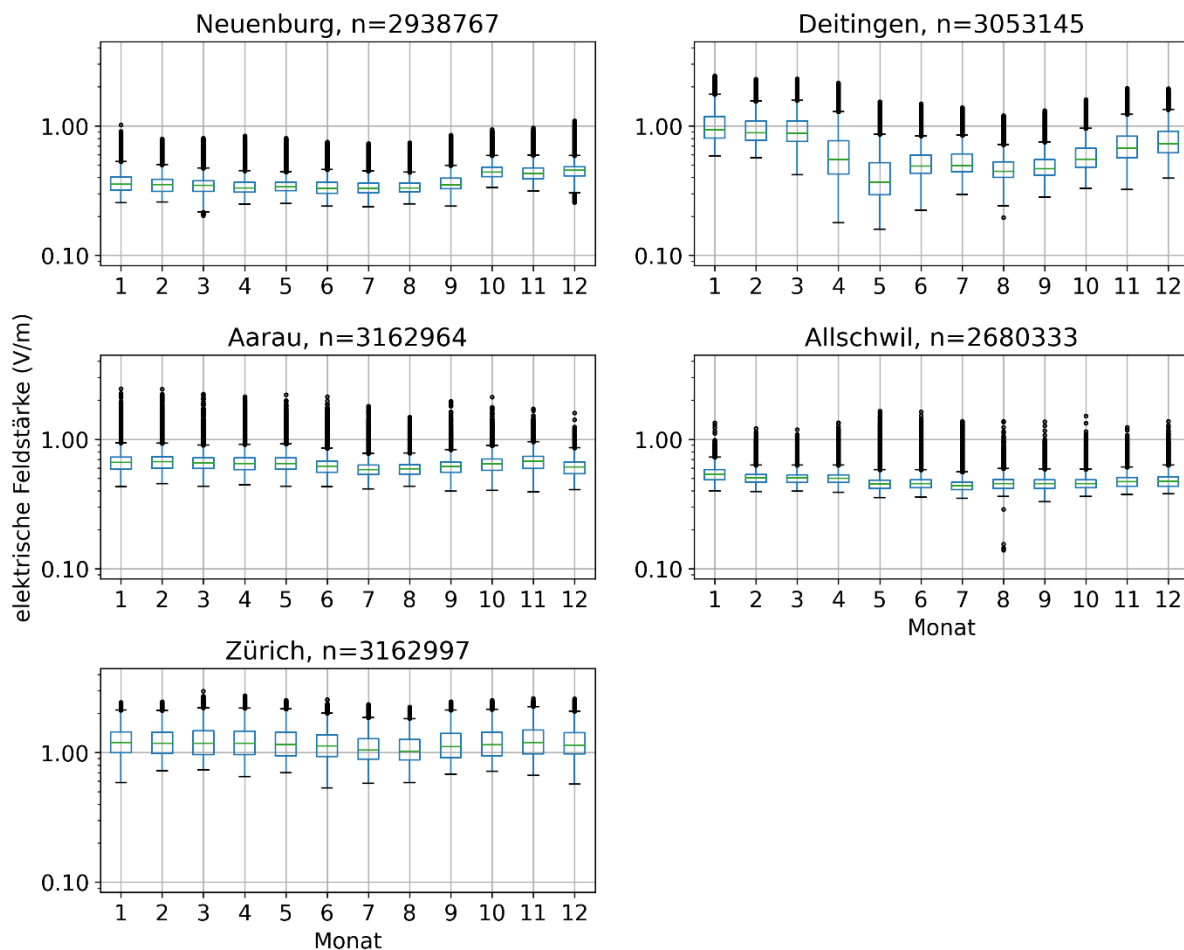


Abbildung 58: Verteilung der RMS elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat. Die einzelnen Panels zeigen die Verteilungen der stationären Standorte. n gibt die Anzahl an Messungen jeder Station im Jahr 2024 an. Zwecks besserer Vergleichbarkeit erstrecken sich die Ordinaten über einen identischen Wertebereich.

Verteilung elektrische Gesamtfeldstärke nach Monat (Peak)

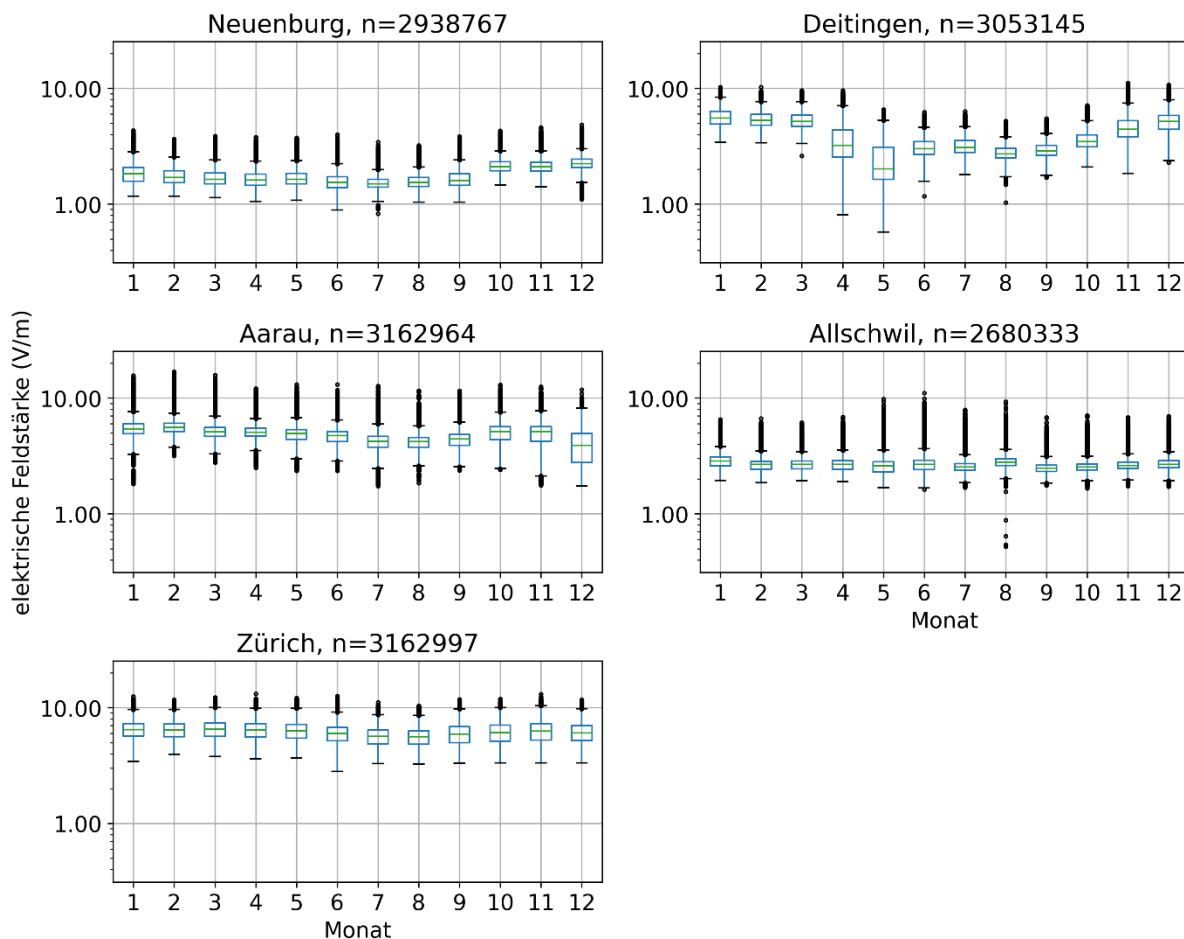


Abbildung 59: Verteilung der Peak elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat. Die einzelnen Panels zeigen die Verteilungen der stationären Standorte. n gibt die Anzahl an Messungen jeder Station im Jahr 2024 an. Zwecks besserer Vergleichbarkeit erstrecken sich die Ordinaten über einen identischen Wertebereich.

5.5 Stündlich aggregierte Feldstärken der Dauermessstationen

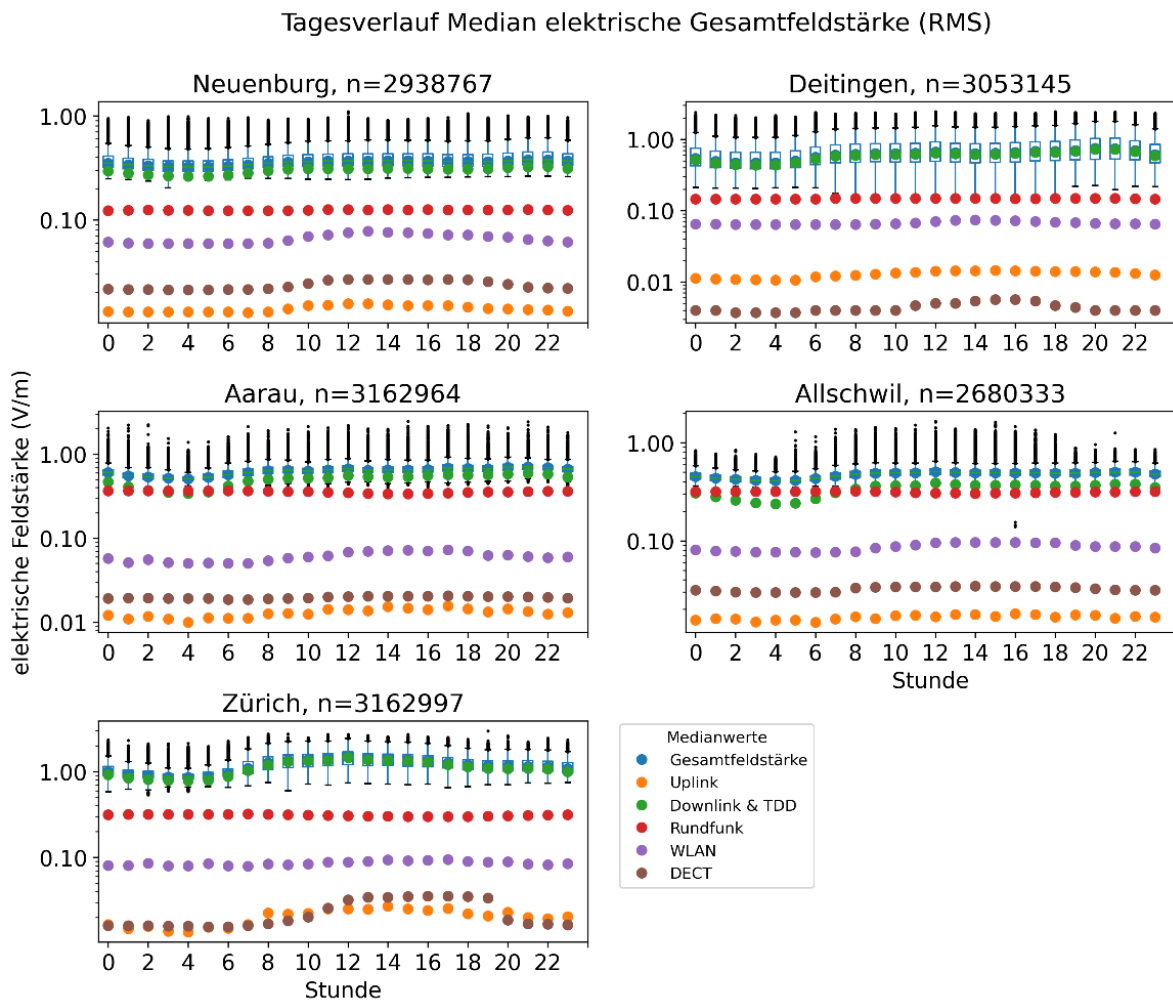


Abbildung 60: Verteilung der elektrischen RMS-Gesamtfeldstärke nach Stunde. Ausreisser ausserhalb des 1.5-fachen Interquartilabstands (IQR) werden durch schwarze Punkte gekennzeichnet. Zusätzlich sind die Medianwerte der verschiedenen Quellenkategorien als farbige Punkte dargestellt. Das erste Intervall wird mit 0 Uhr bezeichnet und umfasst die Zeitspanne auf dem rechteffenen Intervall [00:00, 01:00), während das zweite Zeitintervall 1 den Zeitbereich von [01:00-02:00) umfasst, usw.

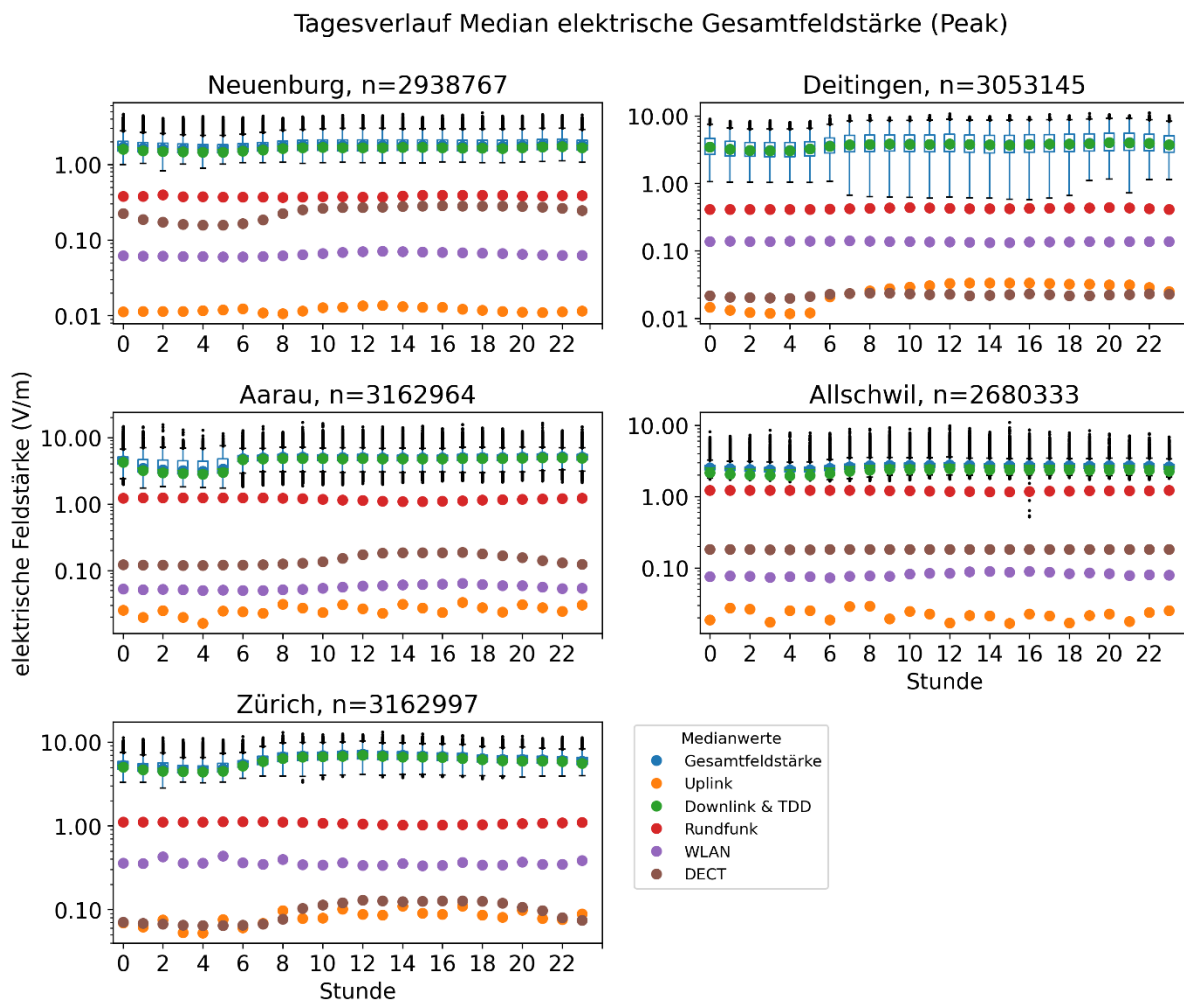


Abbildung 61: Verteilung der elektrischen Peak-Gesamtfeldstärke nach Stunde. Ausreisser ausserhalb des 1.5-fachen Interquartilabstands (IQR) werden durch schwarze Punkte gekennzeichnet. Zusätzlich sind die Medianwerte der verschiedenen Quellenkategorien als farbige Punkte dargestellt. Das erste Intervall wird mit 0 Uhr bezeichnet und umfasst die Zeitspanne auf dem rechtsoffenen Intervall [00:00, 01:00), während das zweite Zeitintervall 1 den Zeitbereich von [01:00-02:00) umfasst, usw.

VI Liste der Standorte von Spotmessungen

Tabelle 48: Liste der Spotmessungen mit Standortgemeinde, Mikroumgebungs-ID und Gebäudenutzung.

Spot-ID	Gemeinde	Primäre Quelle	Haustyp	Gebäude- nutzung Messort	Gebäude- nutzung oben	Gebäude- nutzung unten
spot_SN004	Frick	Eisenbahnlinien 2sp	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN010A	Saint Blaise (NE)	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN016	Lausanne	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_SN016A	Lausanne	Mobilfunk	MFH	(mehrere)	Wohnen	Keller
spot_SN025	Gonten	36-150 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN027	Ettiswil	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_SN027A	Ettiswil	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_SN029	Walchwil	Eisenbahnlinien 2sp	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN065	Frauenfeld	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_SN065A	Frauenfeld	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN071	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_SN071A	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN073	Nyon	Radio/TV	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN082	Winterthur	Radio/TV	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp001	Lungern	220/380 kV Freileitung	Bauernhaus	Wohnen	Wohnen	nicht unterkellert
spot_mp002	Münchenstein	220/380 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unterkellert
spot_mp003	Münchenstein	Tramlinien	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp005	Dübendorf	Eisenbahnlinien 2sp	Zweifamilienhaus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp007	Gränichen	Eisenbahnlinien 1sp	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp008	Reinach AG	Eisenbahnlinien 1sp	anderes	anderes	Dienstleistung	Dienstleistung
spot_mp011	Lugano	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp011A	Lugano	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp012A	Münchenstein	Mobilfunk	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp013	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp013A	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp015	Grellingen	Mobilfunk	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp017	Dübendorf	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp017A	Dübendorf	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp018	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp018A	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp019	Solothurn	Eisenbahnlinien 1sp	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp020	Zermatt	Eisenbahnlinien 1sp	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp021	Deitingen	Eisenbahnlinien 2sp	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen

Spot-ID	Gemeinde	Primäre Quelle	Haustyp	Gebäude- nutzung Messort	Gebäude- nutzung oben	Gebäude- nutzung unten
spot_mp023	Rümlang	36-150 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp024	Schwyz	Mobilfunk	anderes	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp026	Kehrsatz	Eisenbahnlinien 2sp	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp028	Delémont	Radio/TV	MFH	Wohnen	Wohnen	Dienstleis- tung
spot_mp032	Herisau	Mobilfunk	Reihenhaus	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp033	Brienz	Mobilfunk	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp034	Winterthur	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp034A	Winterthur	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp037	Montmagny	Radio/TV	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp038	Walterswil	Radio/TV	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp040	Landquart	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp041	Ersfeld	Eisenbahnlinien 2sp	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp042	Neuhausen am Rheinfall	Mobilfunk	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp043	Pfäffikon	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp044	St. Gallen	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp046	Ennenda	Eisenbahnlinien 1sp	Reihenhaus	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp047	Laufenburg	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp047A	Laufenburg	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp048	Bern	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp048A	Bern	Mobilfunk	Zweifamilien- haus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp049	Yverdon-les- Bains	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp049A	Yverdon-les- Bains	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp050	Disentis	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	Zweifamilien- haus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp052	Visp	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp052A	Visp	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Büro
spot_mp054	Zerne	36-150 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp055	Winterthur	220/380 kV Freilei- tung	Reihenhaus	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp056	Marly	220/380 kV Freilei- tung	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp057	Châtillon	36-150 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Estrich	Keller
spot_mp060A	Seewen	Mobilfunk	Bauernhaus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp061	Solothurn	Trafostationen	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp064	Igis	Radio/TV	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp066	Neuchâtel	Mobilfunk	Zweifamilien- haus	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp066A	Neuchâtel	Mobilfunk	Zweifamilien- haus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp067	Kehrsatz	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen

Spot-ID	Gemeinde	Primäre Quelle	Haustyp	Gebäude- nutzung Messort	Gebäude- nutzung oben	Gebäude- nutzung unten
spot_mp067A	Kehrsatz	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp068	Cheseaux- Noréaz	Mobilfunk	Zweifamilien- haus	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp068A	Cheseaux- Noréaz	Mobilfunk	Zweifamilien- haus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp069	Laufenburg	Eisenbahnlinien 1sp	EFH freistehend	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp074	Bolligen	Radio/TV	Zweifamilien- haus	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp075	Biel/Bienne	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	Reihenhaus	Wohnen	Wohnen	anderes
spot_mp076	Nyon	220/380 kV Freilei- tung	anderes	Industrie- gebäude	keine	Dienstleis- tung
spot_mp077	Bolligen	220/380 kV Freilei- tung	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp078	Biel/Bienne	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp078A	Biel/Bienne	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp079	Luzern	Radio/TV	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp081	St-Pierre-de- Clages	Mobilfunk	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp081A	St-Pierre-de- Clages	Mobilfunk	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp083	Liestal	36-150 kV Freileitung	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp089	Unterlunkh- ofen	1-36 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp090	Jonen	1-36 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp091	Ziegelbrücke	1-36 kV Freileitung	Zweifamilien- haus	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp092	Riedern	1-36 kV Freileitung	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp093	Luzern	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	MFH	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp094	Bowil	Eisenbahnlinien 2sp	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp096	Bätterkinden	1-36 kV Freileitung	Reihenhaus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp100	Haute- Nendaz	Radio/TV	EFH freistehend	Wohnen	keine	Wohnen

Tabelle 49: Liste mit Detailinformationen zu den Messungen. Bei der Kurzzeitmessung werden das Stockwerk, sowie die Raumnutzung angegeben. Bei der mobilen Messung ist die Anzahl durchschrittener Stockwerke und Räume angegeben. Die Langzeitmessungen finden meist im Schlafzimmer statt. Die Tabelle enthält Angaben zum Stockwerk und zur Position des Messgeräts. Folgende Stockwerkstypen wurden berücksichtigt: DG (Dachgeschoss), EG (Erdgeschoss), OG (Obergeschoss), UG (Untergeschoss).

Spot-ID	Stockwerk Kurzzeitmes- sung	Raumnutzung Kurzzeitmes- sung	Anzahl Stock- werke mobile Messung	Anzahl Zimmer mobile Mes- sung	Stockwerk Langzeit- messung	Position Messgerät Langzeitmessung
spot_SN004	EG	Wohnen	3	7	OG1	Stuhl neben Bett
spot_SN010A	EG	anderes	1	4	EG	anderes
spot_SN016	DG	Wohnen	1	3	DG	Nachttisch
spot_SN016A	EG	anderes	1	1	EG	anderes
spot_SN025	EG	Wohnen	3	10	OG1	Nachttisch
spot_SN027	OG1	Wohnen	2	8	OG1	Nachttisch
spot_SN027A	EG	Wohnen	1	5	EG	Nachttisch
spot_SN029	EG	Wohnen	1	7	EG	Kartonbox neben Bett
spot_SN065	OG2	Wohnen	1	7	OG2	Nachttisch
spot_SN065A	EG	Wohnen	1	5	EG	Nachttisch
spot_SN071	DG	Wohnen	2	4	DG	Nachttisch
spot_SN071A	EG	Wohnen	1	3	EG	Hinterbau bei Bett
spot_SN073	EG	Wohnen	2	8	OG1	Hinterbau bei Bett
spot_SN082	OG2	Wohnen	1	4	OG2	Hinterbau bei Bett
spot_mp001	OG1	anderes	2	2	OG1	anderes
spot_mp002	EG	Wohnen	3	8	OG1	Stuhl neben Bett
spot_mp003	OG1	Wohnen	1	5	OG1	Boden neben Bett
spot_mp005	EG	Wohnen	1	9	EG	Nachttisch
spot_mp007	OG1	Wohnen	1	9	OG1	Nachttisch
spot_mp008	OG2	Büro/Arbeits- zimmer	1	10	OG2	anderes
spot_mp011	DG	Wohnen	1	4	DG	anderes
spot_mp011A	EG	Büro/Arbeits- zimmer	1	5	EG	anderes
spot_mp012A	EG	Wohnen	1	5	EG	anderes
spot_mp013	DG	Wohnen	1	6	DG	Nachttisch
spot_mp013A	EG	Büro/Arbeits- zimmer	1	2	EG	Stuhl neben Bett
spot_mp015	OG1	Wohnen	1	10	OG1	Stuhl neben Bett
spot_mp017	OG4	Wohnen	2	5	OG4	Hinterbau bei Bett
spot_mp017A	UG2	Büro/Arbeits- zimmer	1	5	OG2	Nachttisch
spot_mp018	OG6	Wohnen	1	4	OG6	Nachttisch
spot_mp018A	EG	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp019	EG	Wohnen	4	10	OG1	Kartonbox neben Bett
spot_mp020	OG3	Wohnen	1	3	OG3	Hinterbau bei Bett

Spot-ID	Stockwerk Kurzzeitmes- sung	Raumnutzung Kurzzeitmes- sung	Anzahl Stock- werke mobile Messung	Anzahl Zimmer mobile Mes- sung	Stockwerk Langzeit- messung	Position Messgerät Langzeitmessung
spot_mp021	OG1	Wohnen	1	5	OG1	Hinterbau bei Bett
spot_mp023	OG1	Wohnen	3	10	OG2	Nachttisch
spot_mp024	DG	Wohnen	1	10	DG	Nachttisch
spot_mp026	OG1	Wohnen	1	8	OG1	anderes
spot_mp028	OG3	Schlafzimmer	1	2	OG3	Nachttisch
spot_mp032	OG1	Wohnen	2	6	OG1	Nachttisch
spot_mp033	DG	Wohnen	2	5	DG	Nachttisch
spot_mp034	DG	Schlafzimmer	1	5	DG	Nachttisch
spot_mp034A	EG	Schlafzimmer	1	4	EG	Nachttisch
spot_mp037	OG1	Wohnen	2	10	OG1	Nachttisch
spot_mp038	OG1	Wohnen	2	8	OG2	Hinterbau bei Bett
spot_mp040	OG4	Wohnen	1	5	OG4	Stuhl neben Bett
spot_mp041	OG1	Wohnen	1	7	EG	Nachttisch
spot_mp042	EG	anderes	4	10	OG2	Kartonbox neben Bett
spot_mp043	DG	Wohnen	1	9	DG	Kartonbox neben Bett
spot_mp044	OG2	Wohnen	2	7	OG2	Nachttisch
spot_mp046	OG1	Wohnen	2	8	OG2	Nachttisch
spot_mp047	UG2	Wohnen	2	6	OG3	Nachttisch
spot_mp047A	EG	Schlafzimmer	1	3	EG	anderes
spot_mp048	DG	Wohnen	1	5	DG	Stuhl neben Bett
spot_mp048A	EG	Wohnen	1	5	EG	Nachttisch
spot_mp049	OG3	Wohnen	1	7	OG3	Nachttisch
spot_mp049A	EG	Wohnen	1	5	EG	Nachttisch
spot_mp050	EG	Wohnen	1	4	EG	Nachttisch
spot_mp052	DG	Wohnen	1	9	DG	Nachttisch
spot_mp052A	OG1	Wohnen	1	8	OG1	anderes
spot_mp054	OG1	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp055	EG	Wohnen	3	6	DG	Nachttisch
spot_mp056	EG	Wohnen	2	10	EG	Stuhl neben Bett
spot_mp057	EG	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp060A	EG	Wohnen	1	10	EG	anderes
spot_mp061	EG	Wohnen	1	4	EG	Nachttisch
spot_mp064	OG1	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp066	DG	Küche	1	6	DG	Nachttisch
spot_mp066A	EG	Wohnen	2	10	OG1	Stuhl neben Bett
spot_mp067	DG	Wohnen	1	6	OG1	anderes
spot_mp067A	EG	Wohnen	1	6	EG	Nachttisch

Spot-ID	Stockwerk Kurzzeitmes- sung	Raumnutzung Kurzzeitmes- sung	Anzahl Stock- werke mobile Messung	Anzahl Zimmer mobile Mes- sung	Stockwerk Langzeit- messung	Position Messgerät Langzeitmessung
spot_mp068	OG1	Büro/Arbeits- zimmer	1	4	OG2	Nachttisch
spot_mp068A	EG	Küche	1	7	EG	anderes
spot_mp069	OG1	Büro/Arbeits- zimmer	2	10	OG1	Nachttisch
spot_mp074	OG2	Wohnen	2	10	OG3	Kartonbox neben Bett
spot_mp075	EG	Wohnen	1	10	EG	Nachttisch
spot_mp076	DG	Büro/Arbeits- zimmer	1	10	DG	anderes
spot_mp077	EG	Wohnen	2	10	OG1	Kartonbox neben Bett
spot_mp078	OG2	unbekannt	1	5	OG2	anderes
spot_mp078A	EG	unbekannt	1	8	EG	anderes
spot_mp079	OG2	Wohnen	1	7	OG2	Nachttisch
spot_mp081	DG	Küche	1	5	DG	anderes
spot_mp081A	EG	Wohnen	2	9	EG	Kartonbox neben Bett
spot_mp083	OG3	Wohnen	2	8	OG2	Nachttisch
spot_mp089	EG	Wohnen	3	10	OG1	Nachttisch
spot_mp090	OG1	Wohnen	3	10	OG2	Nachttisch
spot_mp091	OG2	anderes	2	10	DG	Nachttisch
spot_mp092	DG	Wohnen	1	5	EG	Nachttisch
spot_mp093	OG1	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp094	EG	Wohnen	3	10	OG1	Nachttisch
spot_mp096	EG	Wohnen	1	8	EG	Nachttisch
spot_mp100	DG	Schlafzimmer	1	5	DG	Nachttisch