

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS



Bern, 20. August 2024

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

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

G+P
Grolimund + Partner AG
Entfelderstrasse 45
5000 Aarau

FaW
Fields at Work GmbH
Hegibachstrasse 41
8032 Zurich

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

Autor/Autorin:

Toni Ziegler, G+P, Projektleiter
Martin Rööfli, 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 1.1	20.08.2024	Projektteam	Jahresbericht 2023	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 zwischen 2021 und 2023.....	16
2.4.3 Wohnungs- resp. Spotmessungen	18
2.4.4 Stationäre Dauermessungen	20
2.5 Datenmanagement	21
2.5.1 Messdateien und Datenbank	21
2.5.2 Datenaufbereitung	22
2.5.3 Deskriptive Statistik.....	24
3. Ergebnisse	27
3.1 Routenmessungen.....	27
3.1.1 Analyse des ersten Messzyklus der Routenmessungen	27
3.1.1.1 Allgemeiner Überblick - HF-Exposition	27
3.1.1.2 Allgemeiner Überblick - NF-Exposition	33
3.1.1.3 Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW)	37
3.1.1.4 Zusätzliche Analysen in Schulen - HF- und NF-Exposition	38
3.1.2 Vergleich der Exposition in den Jahren 2021 und 2023	40
3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen	48
3.2.1 HF-Exposition	48
3.2.2 NF- Exposition	53
3.3 Stationäre Dauermessungen	56
4. Diskussion und Erkenntnisse.....	67
4.1 Routenmessungen.....	67

4.1.1	Erster abgeschlossener Messzyklus der Routenmessungen	67
4.1.2	Messungen an Schulen	68
4.1.3	Vergleich 2021/2023 bei Routenmessungen	68
4.2	Spotmessungen	70
4.2.1	HF-Exposition	70
4.2.2	NF-Exposition	72
4.2.3	Stationäre Dauermessungen	73
4.3	Limitierungen	75
5.	Literaturverzeichnis	78
6.	Datenquellen	80
I	Glossar	81
II	Liste der Standortgemeinden von Mikroumgebungen	83
III	Statistische Kenngrößen der Routenmessungen	90
IV	Statistische Kenngrößen der Spotmessungen	112
V	Statistische Kenngrößen der stationären Dauermessungen	123
VI	Liste der Standorte von Spotmessungen	134

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 dritten Jahresbericht des Projektkonsortiums. Der Jahresbericht 2023 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 wurde im Juni 2023 ein erster Messzyklus bei insgesamt 300 Mikroumgebungen, 188 öffentlichen Orte und 328 öffentlichen Verkehrsmitteln abgeschlossen. Die Resultate des „ersten Messzyklus der Routenmessungen“, welcher Daten von Juli 2021 bis Juni 2023 beinhaltet, wird in Kapitel 3.1.1 dargestellt.
- Bei den Routenmessungen wurde Mitte 2023 der zweite Messzyklus gestartet und damit ist es möglich, Vergleiche mit den Messdaten von 2021 in den gleichen Umgebungen durchzuführen. In Kapitel 3.1.2 ist eine Analyse der zeitlichen Veränderung der NIS zwischen 2021 und 2023 in 75 Mikroumgebungen, 43 öffentlichen Orte und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln dargestellt. Die Daten wurden jeweils zwischen Juli und Dezember in den gleichen Mikroumgebungen auf den gleichen Routen erhoben.
- Bei den Spotmessungen handelt es sich bei den präsentierten Daten in diesem Jahresbericht um 57 Standorte, die zwischen 2021 und Dezember 2023 vermessen wurden (Kapitel 3.2).
- Erste Resultate zu 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 2023 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 Mobilfunkbetreiber 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	Mittelfrequenz in MHz	Bandbreite in MHz	Dienst Kategorie
1	FM Radio	97.75	35	broadcast
2	DAB/DAB+	202	75	broadcast
3	Polycom / 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	Mittelfrequenz 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 Mittelfrequenzen 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	Mittelfrequenz 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	Mittelfrequenz 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.

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, Tram) 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.

Ein Aktivitätsprotokoll wird mit einer Smartphone App erfasst. Mit Hilfe der App wird protokolliert, wann und wo man die Messung gestartet und beendet hat. Das Mobiltelefon des Messtechniker 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 s 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 45 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 2023 in der ganzen Schweiz gemessen wurden.

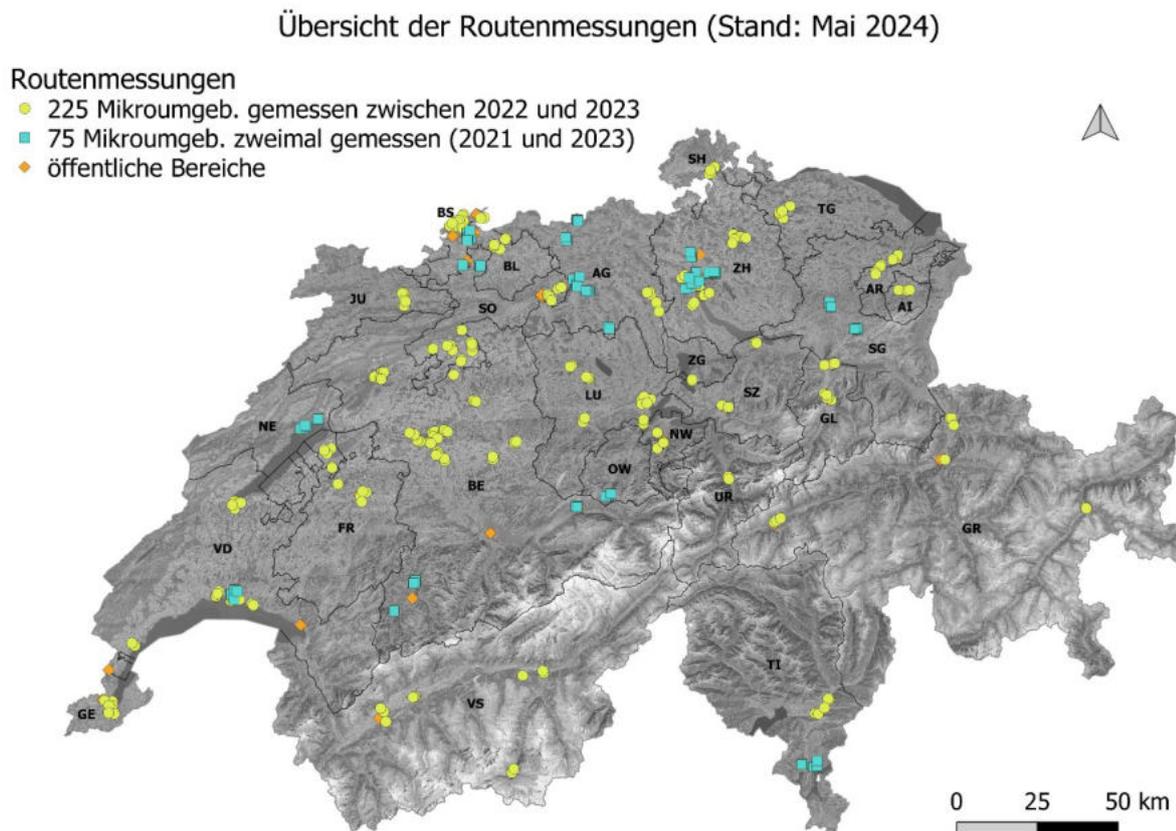


Abbildung 4: Karte der Standorte von Routenmessungen (2021-2023). In diesem Bericht werden die Daten von 300 Mikroumgebungen aus 2021, 2022, und 2023 analysiert (gelbe Punkte und blaue Quadrate). Die Routenmessungen aus dem 2021 wurden im 2023 wiederholt, darunter 75 Mikroumgebungen (blaue Quadrate). Die öffentlichen Bereiche (orange Raute) 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 Belastung an diesen öffentlichen Orten etwas überschätzt wird.

2.4.2 Routenmessungen zwischen 2021 und 2023

Im Jahr 2023 wurden vier Messkampagnen von Routenmessungen durchgeführt:

1. 27. Jan. - 17. Feb. 2023
2. 27. Apr. - 15. Mai 2023
3. 19. Jul. - 11. Aug. 2023
4. 24. Okt. - 16. Nov. 2023

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 ersten Messzyklus analysiert, welcher 300 Mikroumgebungen umfasst, die zwischen Juli 2021 und Juni 2023 vermessen. Die Verteilung dieser 300 Mikroumgebungen ist in Abbildung 4 in Gelb dargestellt. Im Jahr 2021 wurden 75 Mikroumgebungen, 53 öffentliche Bereiche und zahlreiche öffentliche Verkehrsmittel gemessen. Im Jahr 2022 wurden 150 Mikroumgebungen, 90 öffentliche Bereiche und zahlreiche öffentliche Verkehrsmittel gemessen. Im ersten Halbjahr 2023 wurden im Rahmen vom ersten Messzyklus 75 Mikroumgebungen und 45 öffentliche Bereiche vermessen. Im zweiten Halbjahr wurde der zweite Messzyklus gestartet, welcher 75 Mikroumgebungen und 43 öffentliche Bereiche umfasst. Mikroumgebungen, welche 2021 und 2023 vermessen wurden sind in Abbildung 4 in Blau dargestellt. 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 2021 und 2023

werden alle zusammen verglichen. Dabei handelt es sich grundsätzlich um die gleichen An- und Abreisen zu den Messumgebungen.

Die 300 Mikroumgebungen werden in 11 Mikroumgebungstypen zusammengefasst: 20 Stadtzentren, 23 urbane zentrale Wohngebiete, 34 urbane dezentrale Wohngebiete, 36 suburbane Stadtzentren, 52 suburbane Wohngebiete, 29 Dorfzentren, 39 ländliche Wohngebiete, 29 Industriegebiete, 13 Sport-/Freizeitgebiete, 16 landwirtschaftliche Gebiete, und 9 Naturgebiete. Im Jahresbericht 2022 [6] wurden zwei Mikroumgebungstypen als "urbanes Stadtzentrum" und "ländliches Stadtzentrum" bezeichnet. In diesem Jahresbericht werden diese Mikroumgebungstypen in "Stadtzentrum" bzw. "Dorfzentrum" umbenannt. 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 2022.

Mikroumgebung	Anzahl (N)	Beschreibung
Stadtzentrum	20	Grossstadtzentrum, typischerweise in Innenstädten mit hohen Gebäudehöhen (>4 Stockwerke)
urbanes zentrales Wohngebiet	23	in der Nähe eines städtischen Zentrums mit schmalen Gebäudestrukturen und hohen Gebäudehöhen (> 4 Stockwerke)
urbanes dezentrales Wohngebiet	34	am äusseren Rand einer Grossstadt mit einem höheren Anteil an Grünflächen als im Zentrum und mittleren Gebäudehöhen (2-3 Stockwerke)
suburbanes Stadtzentrum	36	Vorstädtisches Zentrum, einschliesslich Geschäften und Restaurants, mit Gebäudehöhen von 3-4 Stockwerken
suburbanes Wohngebiet	52	Vorstädtisches Wohngebiet überwiegend bestehend aus Wohnungen oder Häusern mit Wohnungen
Dorfzentrum	29	Dorfzentrum, einschliesslich Geschäften und Restaurants, mit Gebäudehöhen von 2-3 Stockwerken
ländliches Wohngebiet	39	Vorstädtisches und ländliches Wohngebiet, überwiegend bestehend aus Wohnungen oder Häusern
Industriegebiet	29	Geschäfts- oder Produktionsgebäude, unabhängig von der Stadttypologie
Sport-/Freizeitgebiet	13	Stadtparks und Sportplätze in den Städten
landwirtschaftliches Gebiet	16	bewirtschaftete Flächen wie Felder oder Weinberge
Naturgebiet	9	Wälder, Wiesen oder Naturschutzgebiete

Ebenso haben wir die öffentlichen Bereiche in 10 Messumgebungstypen zusammengefasst. Diese umfassen im ersten Messzyklus 56 Bahnhöfe, 37 Bushaltestellen, 13 Tramhaltestellen, 2 Flughäfen, 19 Supermärkte, 40 Restaurants, 1 Museum, 7 Hochschulen (ETH, UNI, FH) (16 Messungen), 9 Schulen (28 Messungen) sowie 4 Bibliotheken.

Eine zusätzliche Analyse wird in Schulen durchgeführt, respektive diejenige aus dem Jahresbericht 2022 [6] ergänzt. Im Jahr 2022 und 2023 wurden Messungen in neun Schulen (drei Primar-, vier Sekundarschulen, zwei Gymnasien) 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. Es gibt nur wenig Anlass anzunehmen, dass die Exposition im Klassenraum deutlich von derjenigen auf dem Korridor abweicht. 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]).

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	2
	>10 bis 50 kW	500	3	1
	50 bis 200 kW	2'000	3	1
Strom	Höchstspannungsleitungen 220/380 kV	200	7	3
	Hochspannungsleitungen 36-150kV	100	7	3
	Hochspannungsleitungen 1-36kV	50	5	5
	Niederspannungsleitungen 240/400V	20	3	0
	Unterwerke	200	2	0
Eisenbahn	Trafostationen	20	3	1
	Einspurig	50	7	4
	Zweispurig	100	11	5
	Tunnel einspurig	50	3	1
	Tunnel zweispurig	100	4	1
Tram	20	5	1	
Total			100	57

*) total bis inkl. Q1 / 2024

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 März 2024 wurden 57 Spot-Messungen an 47 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 5 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):

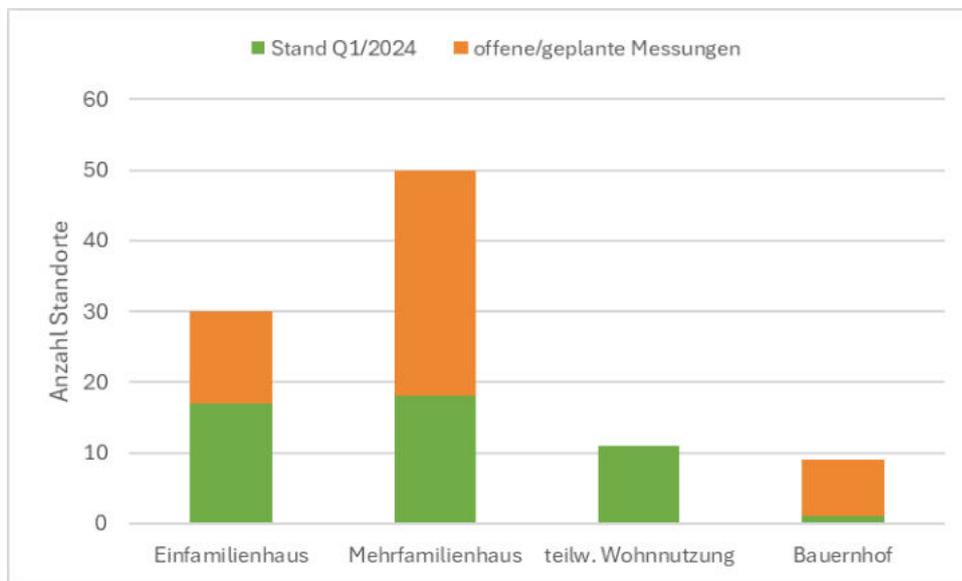


Abbildung 5: Aufteilung der Spotmesspunkte nach Gebäudetypen und Messstand: bereits durchgeführt (grün), noch offen bzw. geplant (orange)

Übersicht der Spotmessungen (Stand: März 2024)

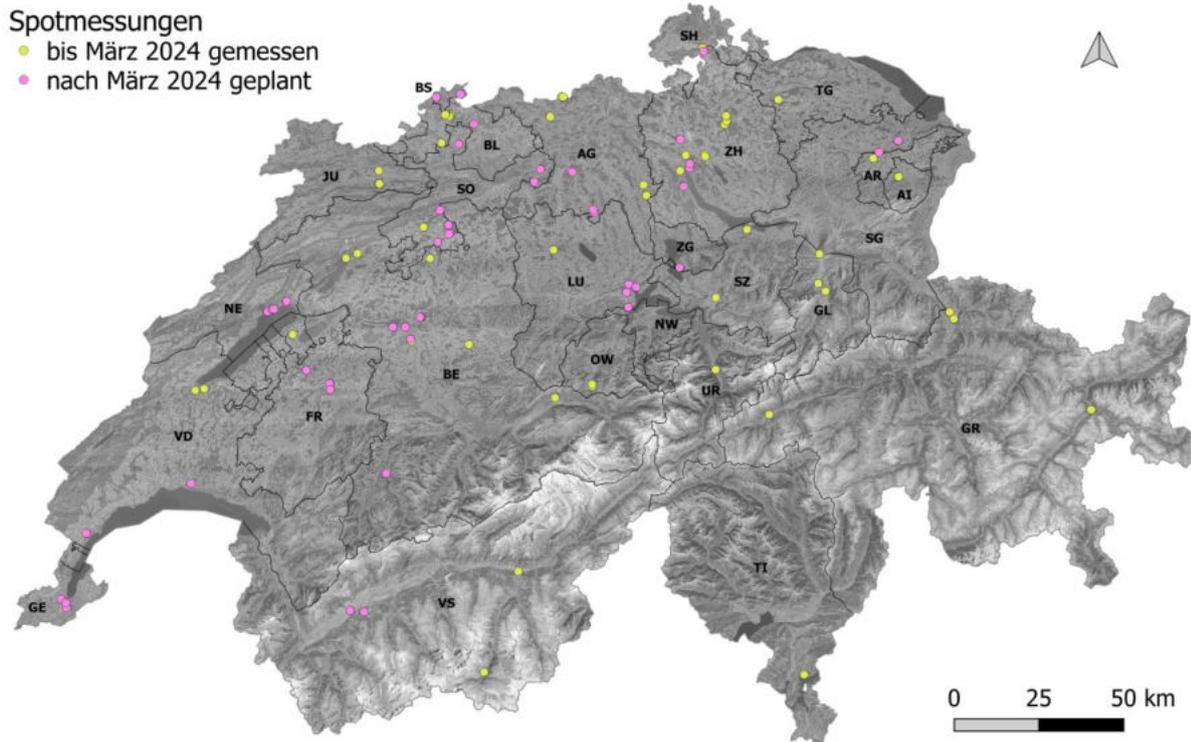


Abbildung 6: Die Verteilung der 100 Standorte der Spotmessungen, die zwischen 2021 und 2025 in der ganzen Schweiz gemessen werden, wobei die bis März 2024 gemessenen Standorten in Gelb und die nach März 2024 geplanten Standorten in Rosa dargestellt sind. Detaillierte Informationen zu den Standorten und zum Gebäudetyp der bis zum Auswertungszeitpunkt vorhandenen Daten können Tabelle 44 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 7 aufgeführt. Neben unterschiedlicher Gemeindetypologien sind auch verschiedene Quellensituationen 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

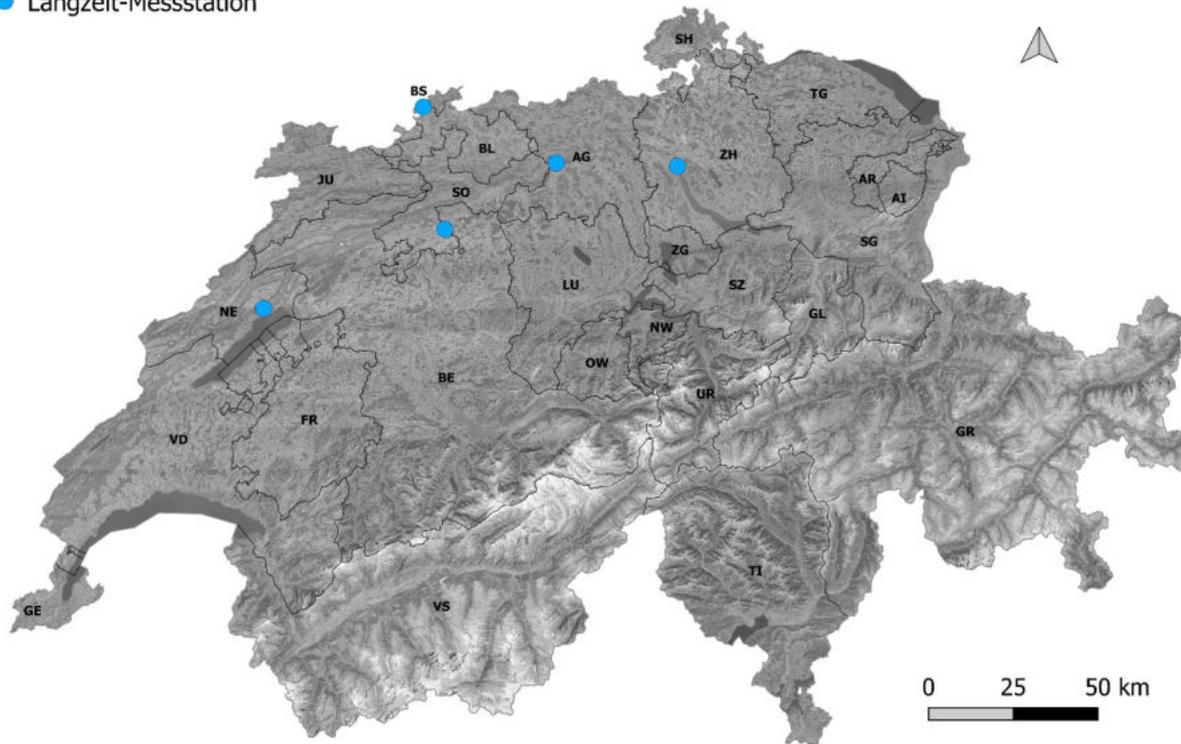


Abbildung 7: Karte der Schweiz mit den 5 Messorten (blaue Punkte) für die stationäre Dauermessungen. Quelle Hintergrundkarte: Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>

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 8 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 8: «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.

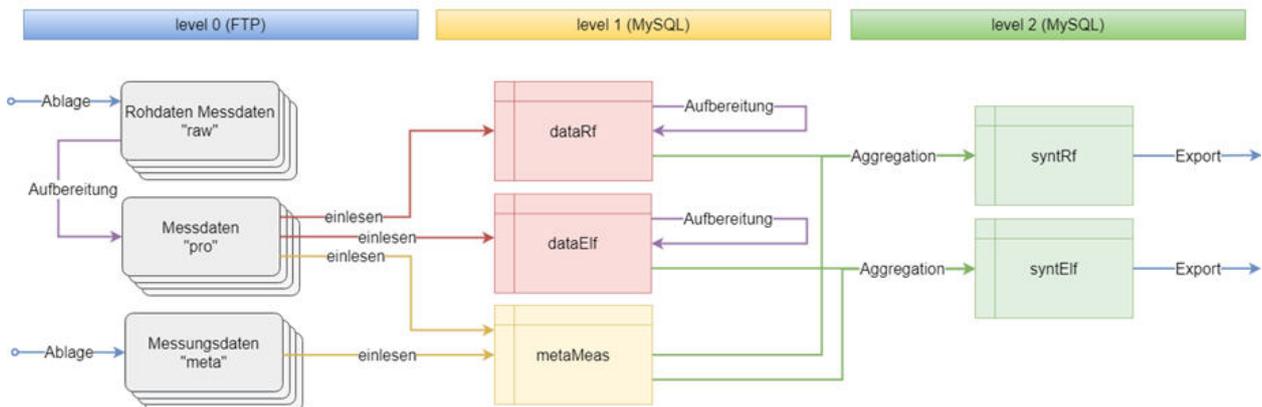


Abbildung 8: Vereinfachtes Schema der Datenbankstruktur

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):

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).

- 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.

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 2.4.2 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 2.4.2 definierten Frequenzgruppe (e.g. Eisenbahnstrom, Stromversorgung, Tram-Rip-pelstrom) entspricht;
- $prop_{NF\ Quelle}$ der durchschnittliche Beitrag der NF-Frequenzgruppe zur gesamten mag-netischen 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.

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

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

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 „ersten Messzyklus der Routenmessungen“ (300 Mikroumgebungen, 188 öffentlichen Orten und 328 Verkehrsmitteln), die zwischen Juli 2021 und Juni 2023 erhoben wurden, dargestellt. Neben dem allgemeinen Überblick über alle Messorte wird ein Vergleich aller Messungen mit den Immissionsgrenzwerten (IGW) durchgeführt sowie eine detailliertere Analyse für Schulen durchgeführt. Ein Vergleich der NIS Exposition zwischen 2021 und 2023 in denselben Messumgebungen ist in Kapitel 3.1.2 dargestellt.

3.1.1 Analyse des ersten Messzyklus der Routenmessungen

3.1.1.1 Allgemeiner Überblick - HF-Exposition

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Expositionsverteilung für den ersten Messzyklus der Routenmessungen 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: 1.67 V/m) gemessen, gefolgt von Stadtzentren (RMS: 0.24 V/m, Peak: 1.22 V/m) und den urbanen zentralen Wohngebieten (RMS: 0.20 V/m, Peak: 1.02 V/m). Die Medianwerte nehmen mit abnehmender Urbanisierung ab. Die niedrigsten Medianwerte wurden in den Dorfzentren (RMS: 0.09 V/m, Peak: 0.36 V/m) und in den Naturgebieten (RMS: 0.07 V/m, Peak: 0.23 V/m) gemessen. In *öffentlichen Bereichen* sind die Medianwerte an Flughafen (RMS: 0.48 V/m, Peak: 2.19 V/m), Tramhaltestellen (RMS: 0.39 V/m, Peak: 2.15 V/m) und Bushaltestellen (RMS: 0.32 V/m, Peak: 1.65 V/m) am höchsten, u.a. weil sich diese Orte im Freien befinden. Die Medianwerte in Supermärkten (RMS: 0.08 V/m, Peak: 0.56 V/m) und Schulen (RMS: 0.09 V/m, Peak: 0.43 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 Metro, Tram und Zügen ähnlich (RMS: 0.22-0.24 V/m, Peak: 1.33-1.55 V/m).

Der grösste Anteil der HF-EMF Quellen entfällt in den meisten Messumgebungstypen auf den Downlink (RMS: 58-98%, Peak: 49-96%). Der Uplink hat einen relativ hohen Anteil in der Metro (RMS: 59%, Peak: 57%) und Zügen (RMS: 40%, Peak: 34%). Der Beitrag von WLAN ist in der Metro (RMS: 21%, Peak: 26%), den Bibliotheken (RMS: 16%, Peak: 53%), den Zügen (RMS: 14%, Peak: 20%) und Supermärkten (RMS: 13%, Peak: 51%) am höchsten, mit einem höchsten Anteil bei den Peak-Werten in der Bibliothek. Time Division Duplex (TDD), im Zusammenhang mit 5G, hat im Allgemeinen einen relativ geringen Beitrag in allen Mikroumgebungen. Die höchsten TDD-Beiträge wurden in Verkehrsmitteln, Industriegebieten, Tramhaltestellen, Bahnhöfen und Schulen festgestellt. Während der Anteil der TDD-Beiträge an RMS-Werten gering ist (<7%), ist der Anteil bei den Peak-Werten deutlich höher (19-29%), was die höhere Dynamik der 5G-Mobilfunktechnologie widerspiegelt. DECT (Schnurlose Telefone) sind im Durchschnitt in allen Messumgebungen gering (<1%), ausser in Stadtzentren (RMS: 7%, Peak: 0.1%) und Supermärkten (RMS: 9%, Peak: 9%). Der relative Anteil von Rundfunk, hauptsächlich Digital Audio Broadcasting (DAB) und Frequenzmodulation (FM), dominiert in Dorfzentren (RMS: 45%,

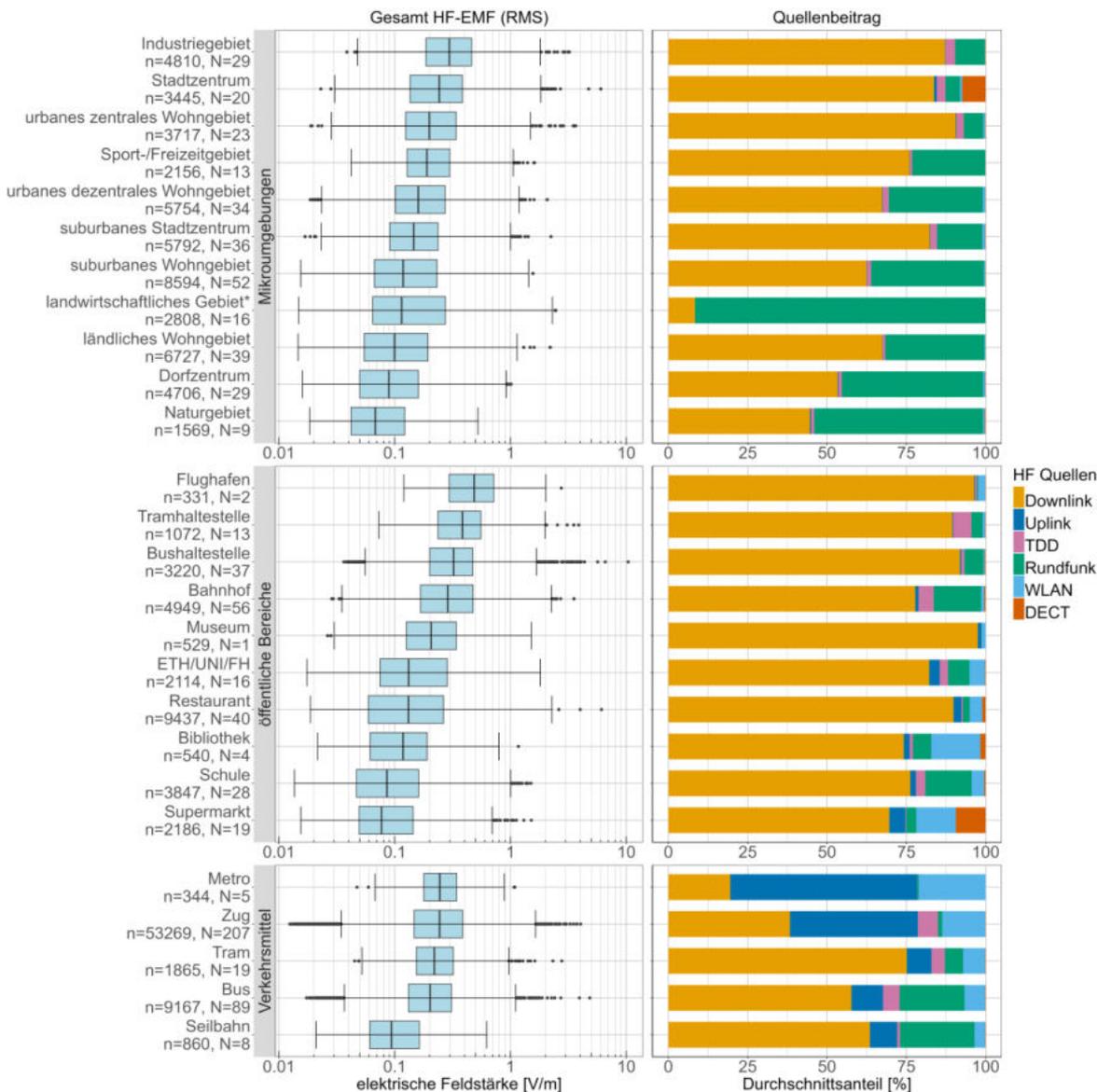


Abbildung 9: Links: Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte für den „ersten Messzyklus der Routenmessungen“ pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot IQR$) bzw. die Extremwerte. 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 16 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 Landwirtschaftsgebiete 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 Belastung 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.

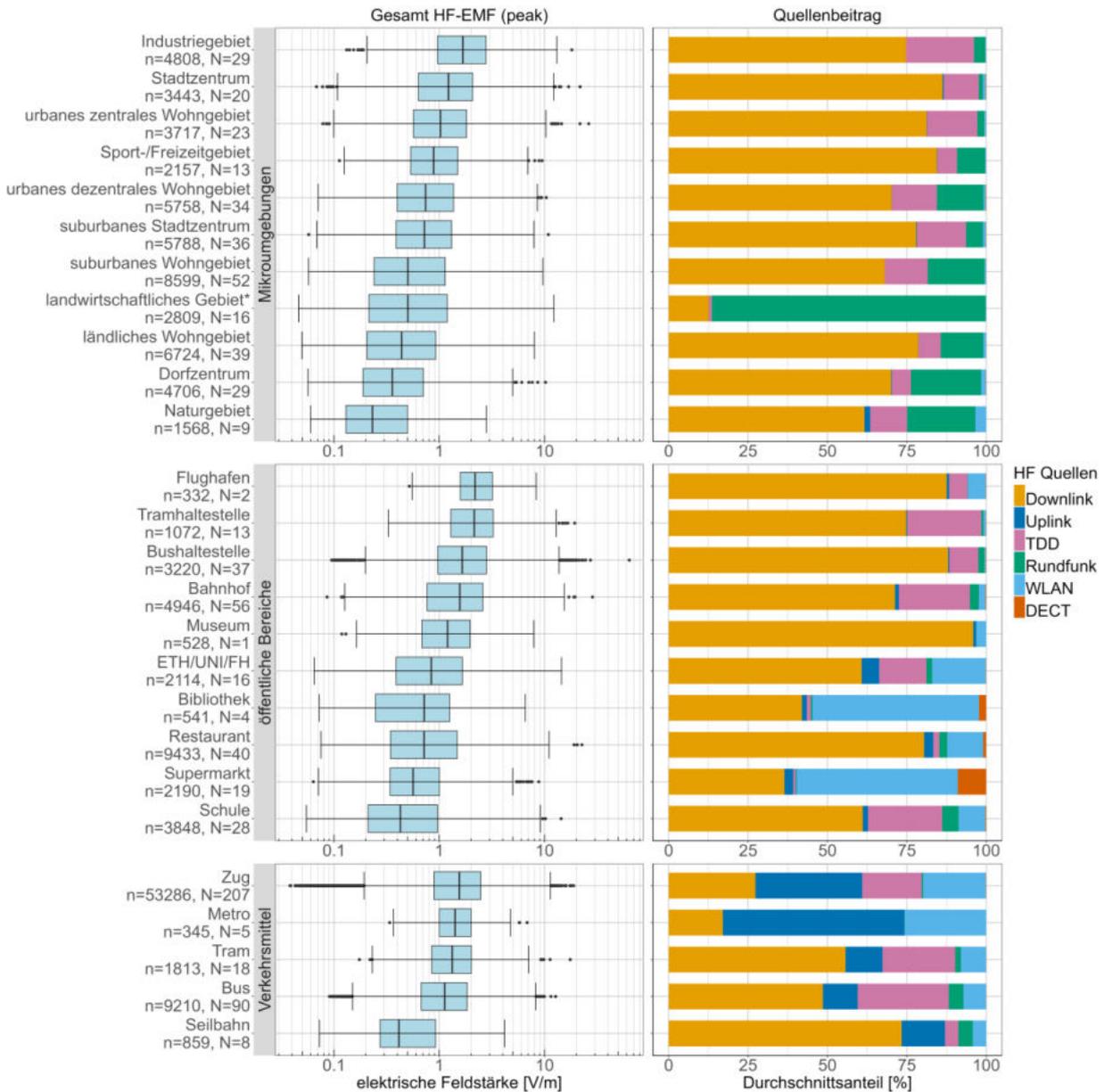


Abbildung 10: Links: Verteilung der Peak HF-EMF Messwerte für den „ersten Messzyklus der Routenmessungen“ pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. 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 15 bzw. Tabelle 16 aufgeführt. *siehe Legende zu Abbildung 9.

Peak: 22%) - hier allerdings aufgrund des geringen absoluten Beitrags der Downlink-Exposition - und in landwirtschaftlichen Gebieten (RMS: 92%, Peak: 86%). Der hohe Beitrag des Rundfunks in landwirtschaftlichen Gebieten ist auf drei Gebiete mit hoher Rundfunkbelastung zurückzuführen, was in der Legende zu Abbildung 9 näher erläutert ist.

Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen die Verteilungen der mittleren Exposition pro Mikroumgebung für RMS- bzw. Peak-Werte pro Messumgebungstyp für den ersten Messzyklus. 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 9 und in Abbildung 10. Die durchschnittliche mittlere Exposition ist in Industriegebieten (RMS: 0.42 V/m, Peak: 2.53 V/m) und Stadtzentren (RMS: 0.42 V/m, Peak: 2.23 V/m) am höchsten. Der maximale Mittelwert einer Mikroumgebung wurde in einem landwirtschaftlichen Gebiet mit einem Radiofunksender (RMS: 1.26 V/m, Peak: 5.71 V/m) gemessen. In öffentlichen Bereichen ist die durchschnittliche mittlere Exposition an Flughäfen (RMS: 0.64 V/m, Peak: 2.78 V/m) und Tramhaltestellen (RMS: 0.51 V/m, Peak: 3.12 V/m) am höchsten. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln ist die mittlere Exposition in Zügen (RMS: 0.34 V/m, Peak: 2.12 V/m) am höchsten. Der maximale Mittelwert aller Messungen in öffentlichen Bereichen – sowie insgesamt – trat an einer Bushaltestelle (RMS: 2.09 V/m, Peak: 12.38 V/m) auf.

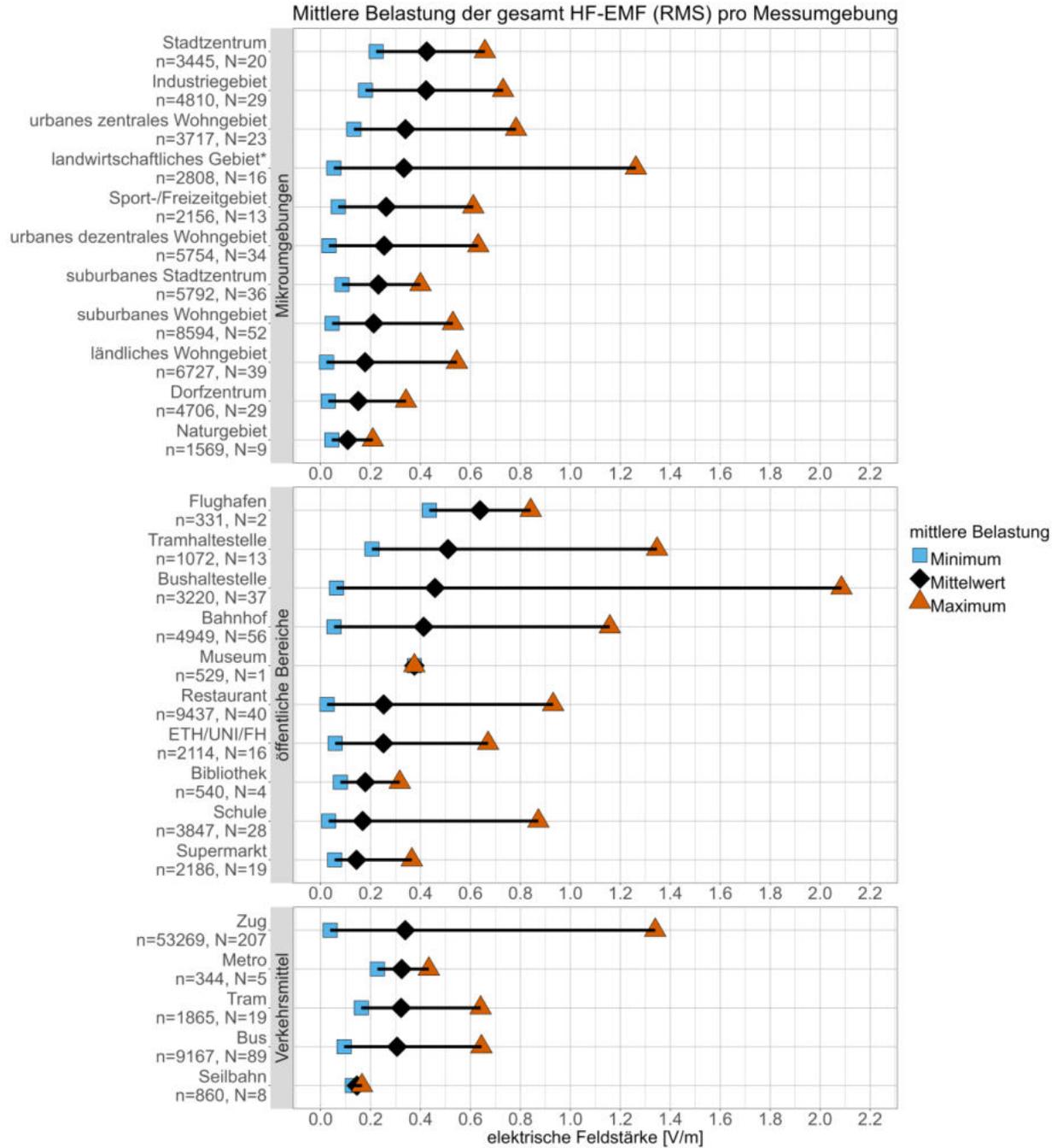


Abbildung 11: Bereich der mittleren Belastung der RMS HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen für den ersten Messzyklus. Der Mittelwert des RMS-Werts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und 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.

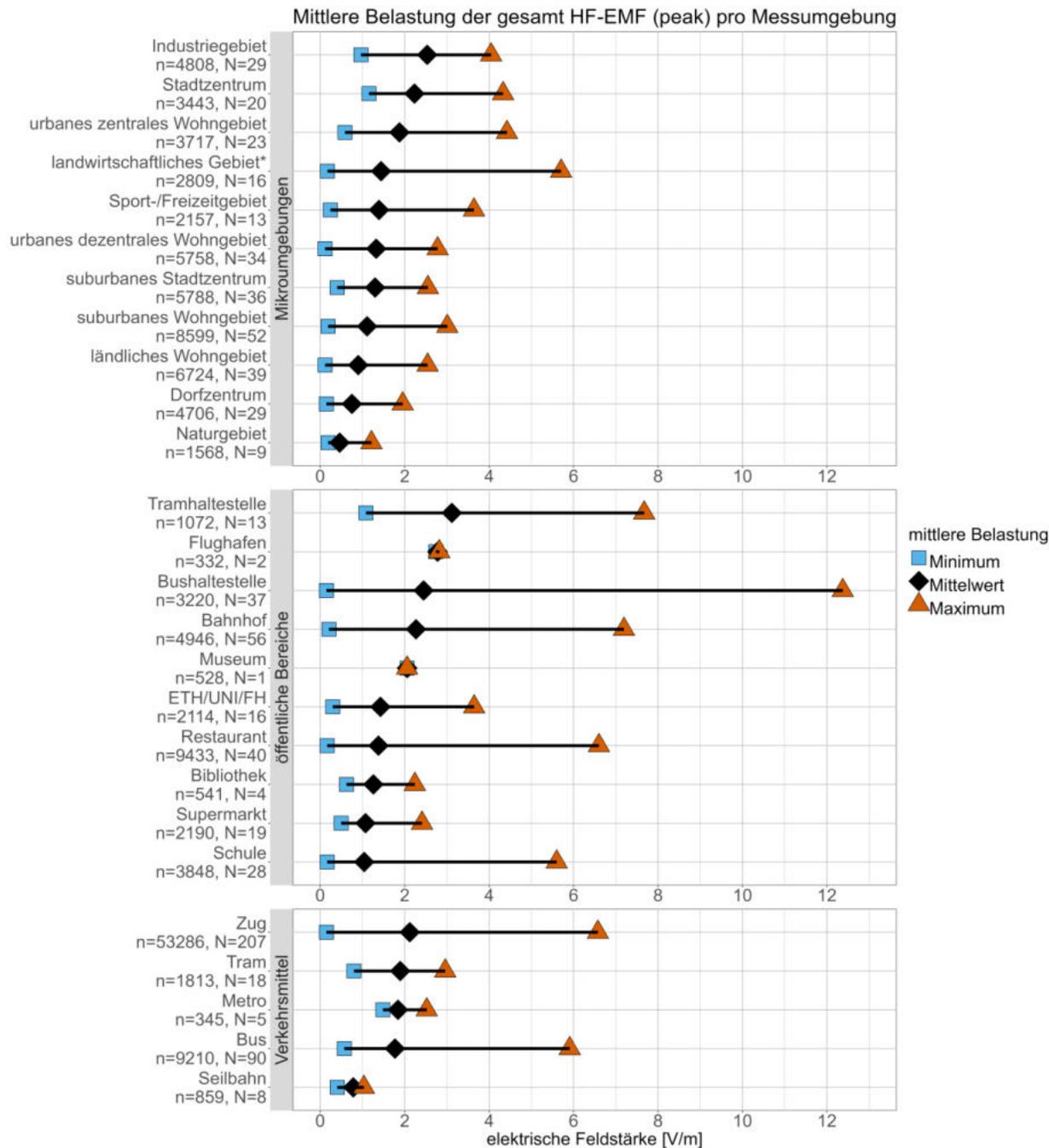


Abbildung 12: Bereich der mittleren Belastung der Peak HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen für den ersten Messzyklus. Der Mittelwert des RMS-Werts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und 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 Allgemeiner Überblick - NF-Exposition

Abbildung 13 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte pro Messumgebungstyp für den ersten Messzyklus 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 μT) gemessen, gefolgt von urbanen zentralen (0.18 μT) und dezentralen (0.14 μT) Wohngebieten. Die Medianwerte nehmen tendenziell mit abnehmender Urbanisierung ab. Die niedrigsten Medianwerte wurden in landwirtschaftlichen Gebieten und Sport-/Freizeit Gebieten (0.03 μT) sowie in Naturgebieten (0.02 μT) gemessen. In *öffentlichen Bereichen* sind die Medianwerte an Bahnhöfen (0.38 μT) und Tramhaltestellen (0.22 μT) am höchsten, während die Medianwerte in Schulen (0.04 μT) Bibliotheken (0.03 μT) und Flughäfen (0.02 μT) relativ niedrig sind. Bei den *öffentlichen Verkehrsmitteln* sind die Medianwerte in Zügen am höchsten (0.44 μT), gefolgt von Tram (0.17 μT).

Der Beitrag der Stromversorgung ist in allen *Mikroumgebungen* (60-97%) mit Ausnahme von Naturgebieten (9%) dominant. Der Beitrag des Eisenbahnstroms ist in Zügen (100%), Bahnhöfen (99%), und Bushaltestellen (82%), aufgrund der Nähe zu Bahnstromleitungen am höchsten. Der Anteil des Tram-Rippelstroms beträgt 28% in Trams und 44% an Tramhaltestellen.

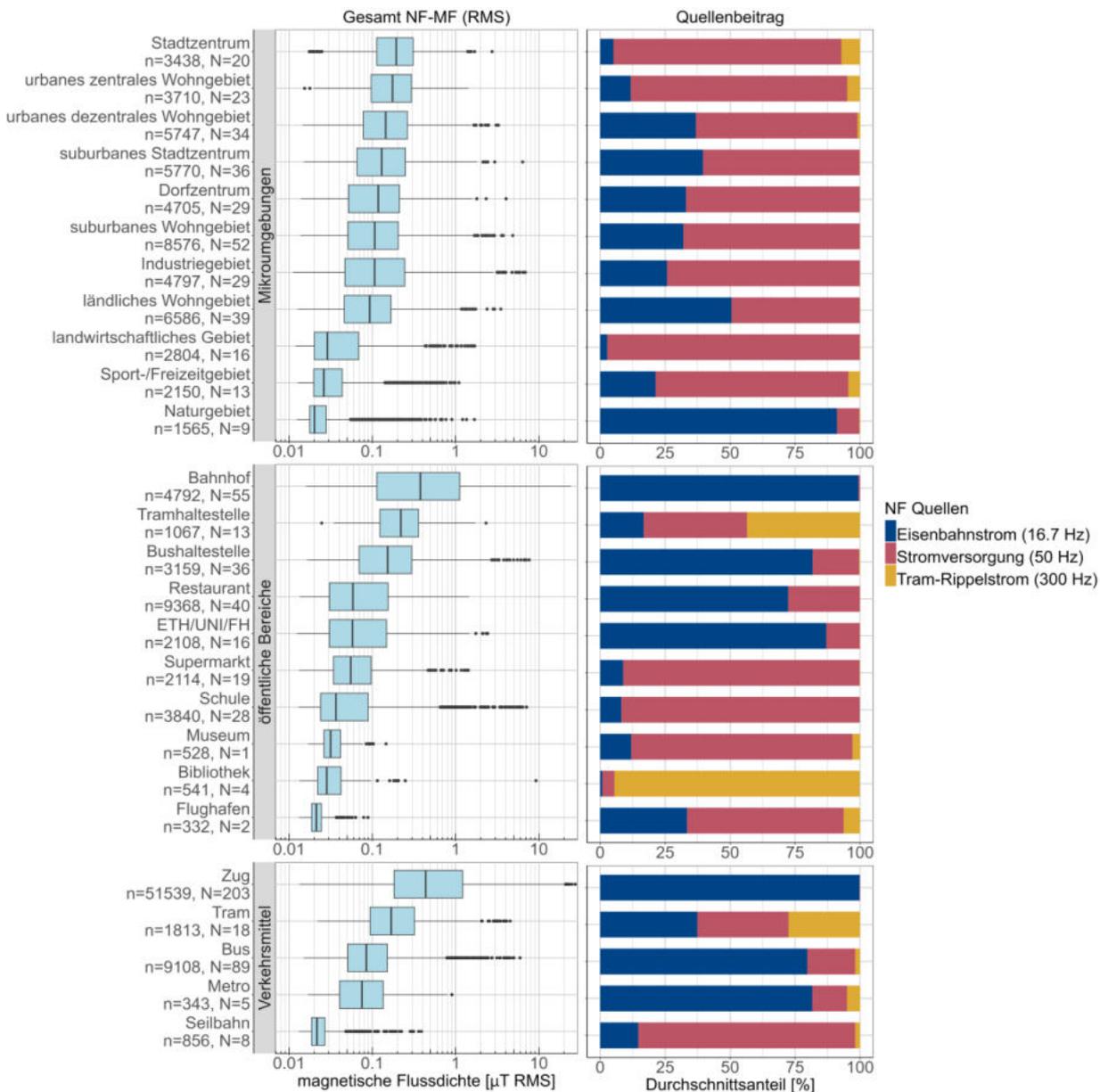


Abbildung 13: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte für den „ersten Messzyklus der Routenmessungen“ pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kasten, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot \text{IQR}$) bzw. die Extremwerte. 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 Tabelle 19 bzw. Tabelle 20 aufgeführt.

Abbildung 14 zeigt die Verteilungen der mittleren Belastung der gesamten NF-Exposition pro Messumgebungstyp für den ersten Messzyklus. 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 der Expositionsfolge wie in Abbildung 13 für die Medianwerte zu beobachten. In den *Mikroumgebungen* wurden die höchste mittlere Belastung in den Stadtzentren ($0.24 \mu\text{T}$) gemessen. Die maximale Belastung findet sich in einem Industriegebiet ($1.48 \mu\text{T}$) in der Nähe eines Kraftwerks. In *öffentlichen Bereichen* wurde die höchste mittlere Belastung an Bahnhöfen ($1.05 \mu\text{T}$) gemessen, wobei die maximale mittlere Belastung bis $7.20 \mu\text{T}$ reicht. Bei den *öffentlichen Verkehrsmitteln* ist die mittlere Belastung in Zügen ($1.18 \mu\text{T}$) am höchsten und die maximale mittlere Belastung erstreckt sich bis $8.99 \mu\text{T}$.

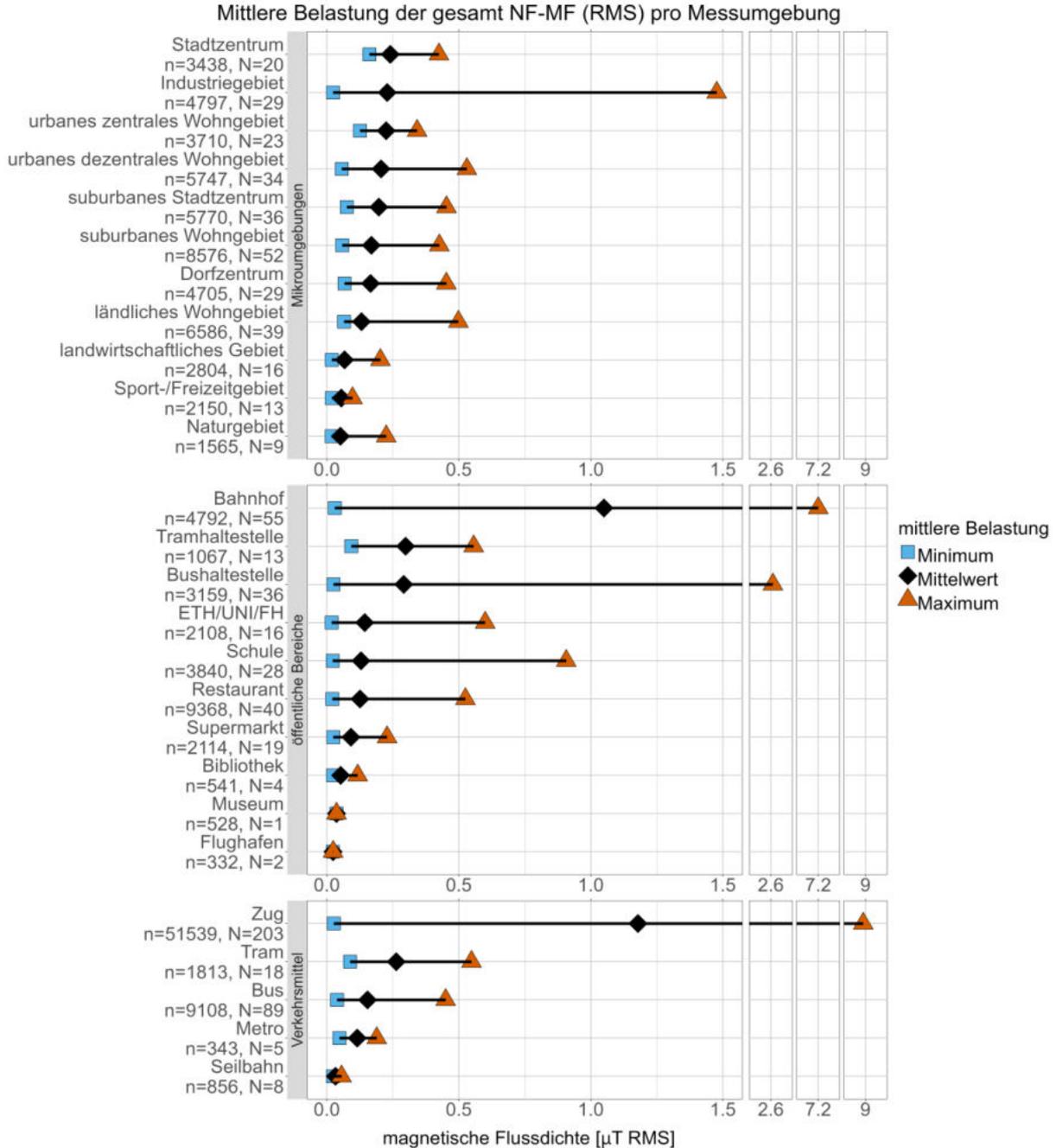


Abbildung 14: Bereich der mittleren Belastung der NF-MF Messungen für den „ersten Messzyklus der Routenmessungen“ für die verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (10) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) 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 9.0 µT dreimal unterbrochen. Die Daten sind in Tabelle 21 aufgeführt.

3.1.1.3 Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW)

Abbildung 15 zeigt die Ausschöpfung des Immissionsgrenzwertes (IGW) für die NF-Werte (blau) und die HF-Werte (rot) für alle Messroutendaten vom ersten Messzyklus, berechnet nach der Summationsvorschrift der NISV [1]. Alle Daten wurden nach den drei Arten von Messungen 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 13% und bei den HF-Werten bei höchstens 6%. Die Medianwerte der IGW-Ausschöpfungswerte liegen alle unter 1%.

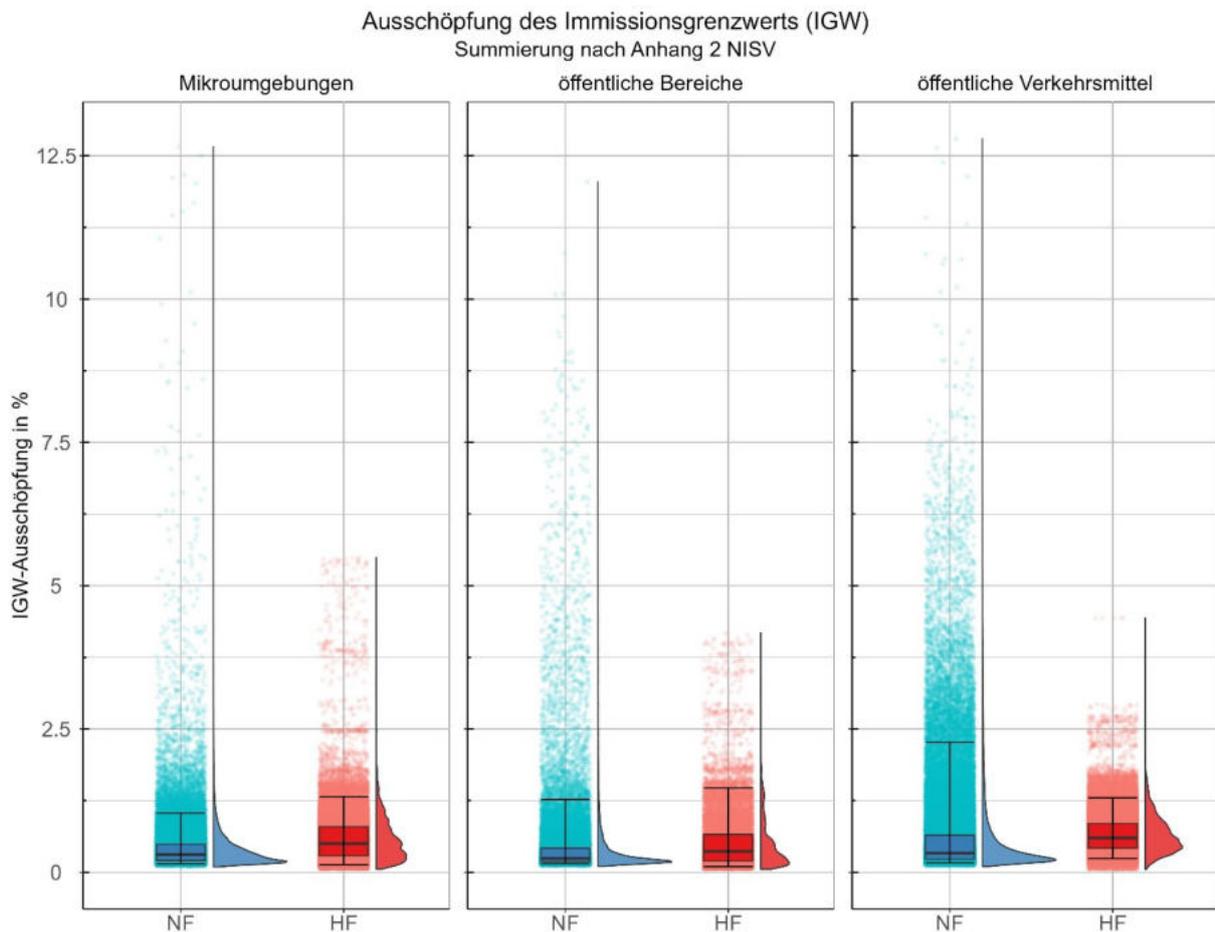


Abbildung 15: Statistische Verteilung der Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts über alle Messpunkte des ersten Messzyklus. Die verschiedenen Frequenzen wurden nach der Summierungsvorschrift (NISV Anhang 2) addiert. In den Diagrammen sind links die einzelnen Messwerte (bei NF) bzw. die einzelnen 6-Minuten-Mittelwerte (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. 13%), um die Struktur der Werte sichtbar zu machen.

Von allen HF-Messwerten überschreitet keiner den geltenden Immissionsgrenzwert. Von allen gemessenen NF-Messwerten überschreitet nur ein Wert den IGW um den Faktor 1.73. Er wurde aus der

weiteren Datenanalyse und obiger Graphik ausgeschlossen und wird als Ausreisser gehandhabt. Dieser Wert wurde in einer Bibliothek im Frequenzband von 899-901 Hz gemessen. In diesem Band ist die dritte Harmonische des Tramstroms messbar. In diesem Fall ist wegen der unüblich hohen Feldstärke und der untypischen Konstellation davon auszugehen, dass diese Messung nicht mit dem Tramstrom zusammenhängt und von einem magnetischen RFID-Lesegerät für Bücher stammt.

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

In einer vertieften Analyse wurden Messdaten evaluiert, welche 2022 und 2023 im Rahmen des ersten Messzyklus in drei Primarschulen, vier Sekundarschulen und zwei Gymnasien 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 16 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der HF-Exposition der RMS-Werte (oben) bzw. Peak-Werte (unten) bei Schulen. 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). Erwartungsgemäss zeigt sich in den Aussenbereichen («Pausenplatz – aussen») eine leicht höhere 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: 0.23 V/m, Peak: 1.33 V/m) | «Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen»: RMS: 0.15 V/m, Peak: 0.52 V/m).

Auf den «Pausenplätzen – aussen» stammen die grössten Strahlungsbeiträge von Mobilfunkanlagen (Downlink-Beitrag: RMS: 71 -84%, Peak: 66 -68%), gefolgt von Rundfunkanlagen (RMS: 11 - 21%, Peak: 3-11%). Auf den «Pausenplätzen – innen» stammen die grössten Strahlungsbeiträge von WLAN (RMS: 14 - 31%, Peak: 61 - 65%), allerdings auf tiefem Niveau, da die mittlere Belastung im Gebäudeinneren insgesamt gering ist (RMS: 0.09 – 0.15 V/m). Während der Pausen im Gebäudeinneren (d.h. «Pausenplatz innen – mit Schuler*innen») tragen die Schüler*innen durch die aktive Nutzung ihrer Mobiltelefone leicht zur Erhöhung der Exposition bei (Uplink-Beitrag: RMS: 20%, Peak: 12%).

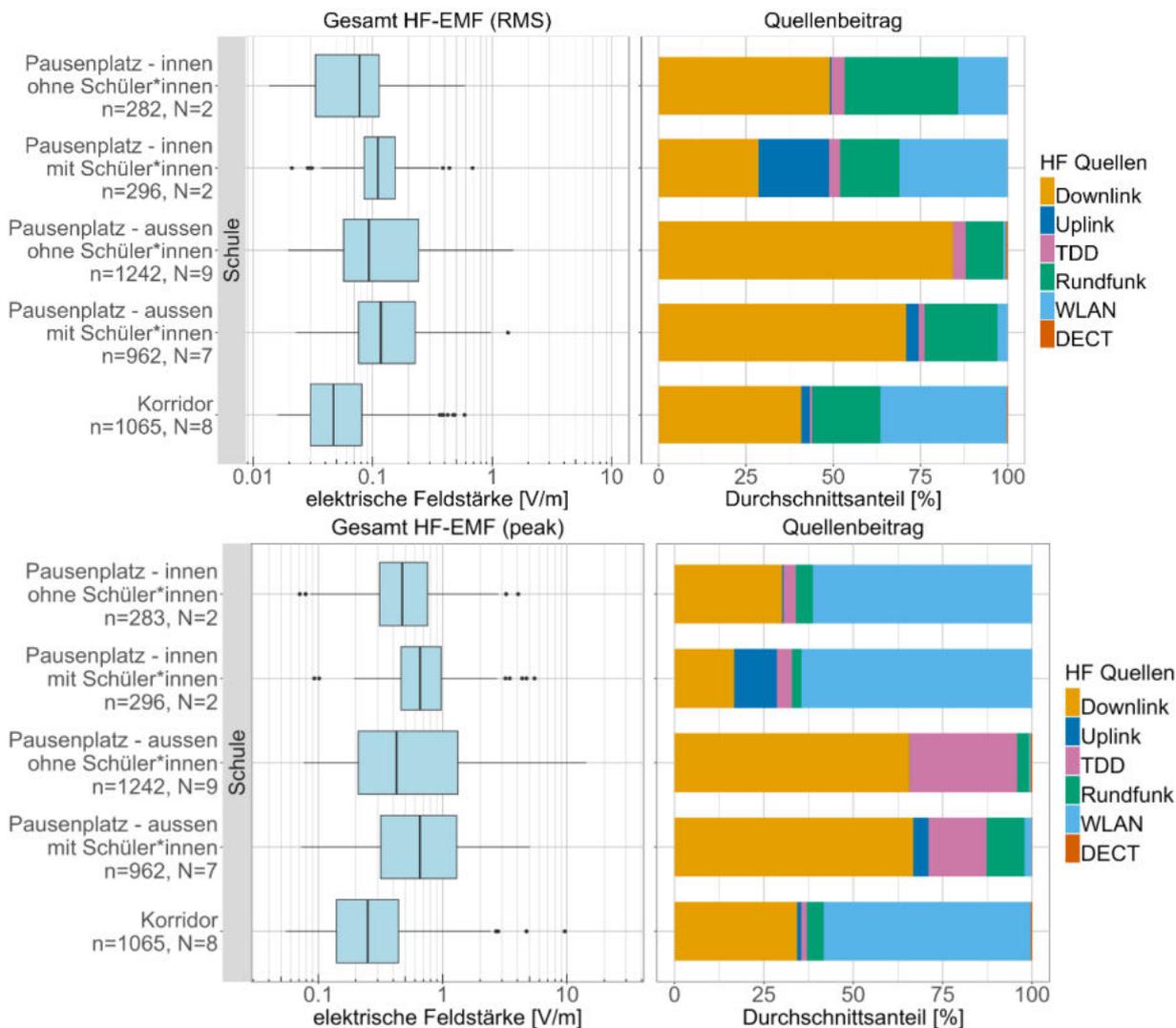


Abbildung 16: Links: Verteilung der RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF Messwerte in Schulen vom ersten Messzyklus. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot IQR$) bzw. die Extremwerte. Rechts: 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 17 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte der NF-Exposition für die verschiedenen Messorte an Schulen. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der drei Hauptquellen niederfrequenter Strahlung eingefärbt: Eisenbahnstrom (blau), Stromversorgung (pink) und Tram-Rippelstrom (gelb). Generell sind die Medianwerte der NF-MF-Exposition in Schulen die niedrigsten aller *öffentlichen Bereiche*. An allen neun Schulen wurden Messungen auf dem Pausenplatz aussen ohne Schüler*innen durchgeführt. Der Medianwert für das NF-MF beträgt dort $0.03 \mu T$. Auffällig ist aber die grosse Streuung der Daten mit mehreren Messwerten $> 1 \mu T$. Diese hohen

Werte stammen von einer Schule in unmittelbarer Nähe von einer Bahnlinie. Die Median NF-MF Exposition dieser Schule beträgt dort 0.33 μT . Die deutlich höheren NF-MF-Werte in dieser Schule bewirken, dass für Pausenplätze der Eisenbahnstrom im Durchschnitt den höchsten Beitrag liefert (99%). Bei den anderen acht Schulen ist die Median-NF-EMF Exposition auf dem Pausenplatz ohne Schüler*innen 0.02 - 0.14 μT . Für diese acht Schulen stammt 6 – 97 % der NF-MF Exposition auf dem Pausenplatz von der Stromversorgung und 3 – 94 % vom Eisenbahnstrom. Letzteres liegt hauptsächlich daran, dass sich zwei dieser acht Schulen in der Nähe eines suburbanen Bahnhofs befinden und dort der Eisenbahnstrom bis 94 % beiträgt, in den sechs anderen Schulen trägt der Bahnstrom bis zu 24% bei. Dort ist aber die mediane NF-EMF Exposition jedoch etwas höher (0.07 - 0.14 μT) als in den übrigen sechs Schulen (0.02 – 0.05 μT). Beim Vergleich der NF-MF Werte an den verschiedenen Orten im Schulhaus ist bei Abbildung 17 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. Bei dieser Schule wurde auf dem Pausenplatz innen (mit und ohne Schüler*innen) sowie auf dem Pausplatz aussen ohne Schüler*innen gemessen.

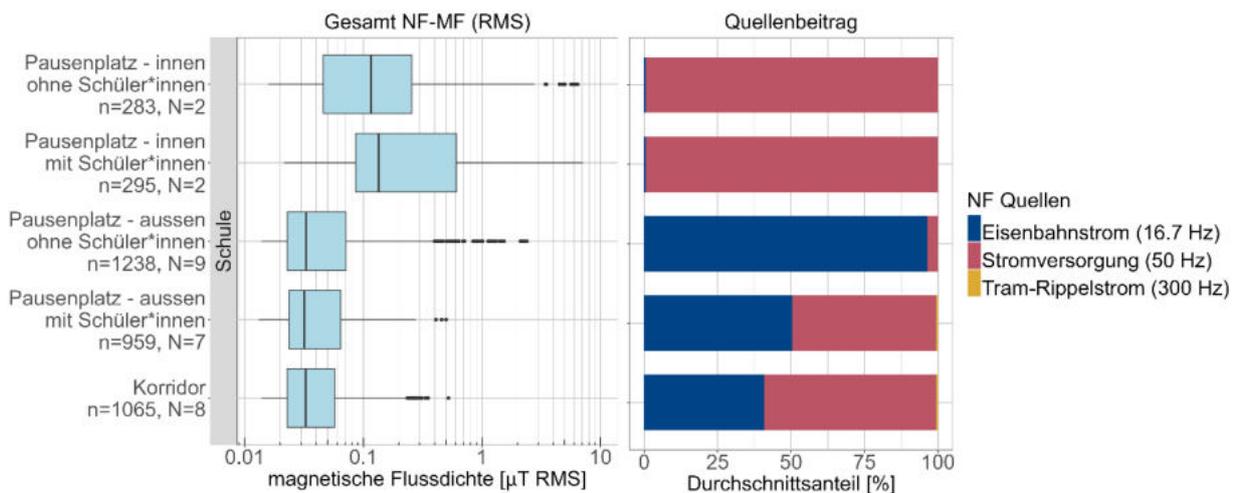


Abbildung 17: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte in den Jahren 2022 und 2023 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen 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 bzw. Tabelle 25 aufgeführt.

3.1.2 Vergleich der Exposition in den Jahren 2021 und 2023

In der zweiten Jahreshälfte im Jahr 2021 und 2023 wurde in den gleichen 75 Mikroumgebungen und 43 öffentlichen Bereichen so gut wie möglich auf denselben Wegen zur 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 erhobene Daten über ein halbes 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 öffentlichen Verkehrsmitteln zu den Messorten unternommen wurden.

Abbildung 18 und Abbildung 20 zeigen jeweils den Vergleich der Verteilung der gesamten HF-Exposition der RMS-Werte bzw. Peak-Werte von der zweiten Jahreshälfte in Jahr 2021 (violett) und im Jahr 2023 (gelb), wo jeweils in den gleichen Messumgebungen gemessen wurde. In der Mehrheit der Messumgebungen sind die RMS-Mediane ähnlich (± 0.03 V/m). In einigen Messumgebungen waren die Medianwerte im Jahr 2023 höher, insbesondere bei einem Flughafen (RMS: 2021: 0.33 V/m, 2023: 0.50 V/m, Peak: 2021: 2.16 V/m, 2023: 4.27 V/m), und im öffentlichen Verkehr (zum Beispiel in Zügen (RMS: 2021: 0.21 V/m, 2023: 0.28 V/m, Peak: 2021: 1.33 V/m, 2023: 1.87 V/m) und Bussen (RMS: 2021: 0.15 V/m, 2023: 0.23 V/m, Peak: 2021: 0.81 V/m, 2023: 1.40 V/m). An Bushaltestellen sind die Medianwerte im Jahr 2023 etwas tiefer (RMS: 2021: 0.36 V/m, 2023: 0.31 V/m, Peak: 2021: 1.91 V/m, 2023: 1.76 V/m).

Der Median-HF-EMF-RMS-Wert für alle *Mikroumgebungen* lag sowohl im Jahr 2021 wie auch im Jahr 2023 bei 0.14 V/m. Der mediane Peak-Wert lag 2021 bei 0.60 V/m und 2023 bei 0.65 V/m. Für alle *öffentlichen Bereiche* war der Median-RMS Wert 2021 0.13 V/m (Peak: 0.67 V/m) und 2023 0.14 V/m (Peak: 0.95 V/m). Für alle *Verkehrsmittel* lag der Median-RMS Wert 2021 bei 0.21 V/m (Peak: 1.26 V/m) und 2023 bei 0.27 V/m (Peak: 1.78 V/m) (siehe Tabelle 32).

Abbildung 19 und Abbildung 21 zeigen die mittleren relativen Beiträge der sechs HF-Quellen in den Jahren 2021 und 2023: Downlink (orange), Uplink (dunkelblau), Time Division Duplex TDD (violett), Rundfunk (grün), WLAN (hellblau), DECT (rot). In den meisten Fällen sind ähnliche Beitragsmuster im Jahr 2021 und 2023 zu beobachten. Die bemerkenswerteste Veränderung ist ein Anstieg des TDD-Anteils bei den PEAK-Werten, insbesondere in urbanen, Industrie-, Sport- und Freizeitgebieten sowie im öffentlichen Verkehr inklusive Haltestellen und Flughafen. Beispielsweise stieg der Anteil von TDD an den Spitzenwerten in Industriegebieten und Sport- und Freizeitgebieten von 17% bzw. 6% im Jahr 2021 auf 28% bzw. 31% im Jahr 2023. Ebenfalls ausgeprägt war die Zunahme von TDD an Tramhaltestellen (2021: 8%, 2023: 32%) und Flughäfen (2021: 11%, 2023: 67%). Im öffentlichen Verkehr stieg der Anteil von TDD an den Peak-Werten in Zügen (2021: 10%, 2023: 53%), Trams (2021: 24%, 2023: 38%), und Bussen (2021: 6%, 2023: 45%).

Für RMS-Werte wurde eine Zunahme des TDD-Anteils zwischen 2021 und 2023 auch beobachtet, dieser war aber im Allgemeinen weniger ausgeprägt ausser an einem Flughafen (2021: 2%, 2023: 49%), Tramhaltestellen (2021: 1%, 2023: 14%), Zügen (2021: 3%, 2023: 27%), Trams (2021: 3%, 2023: 14%) und Bussen (2021: 1%, 2023: 7%).

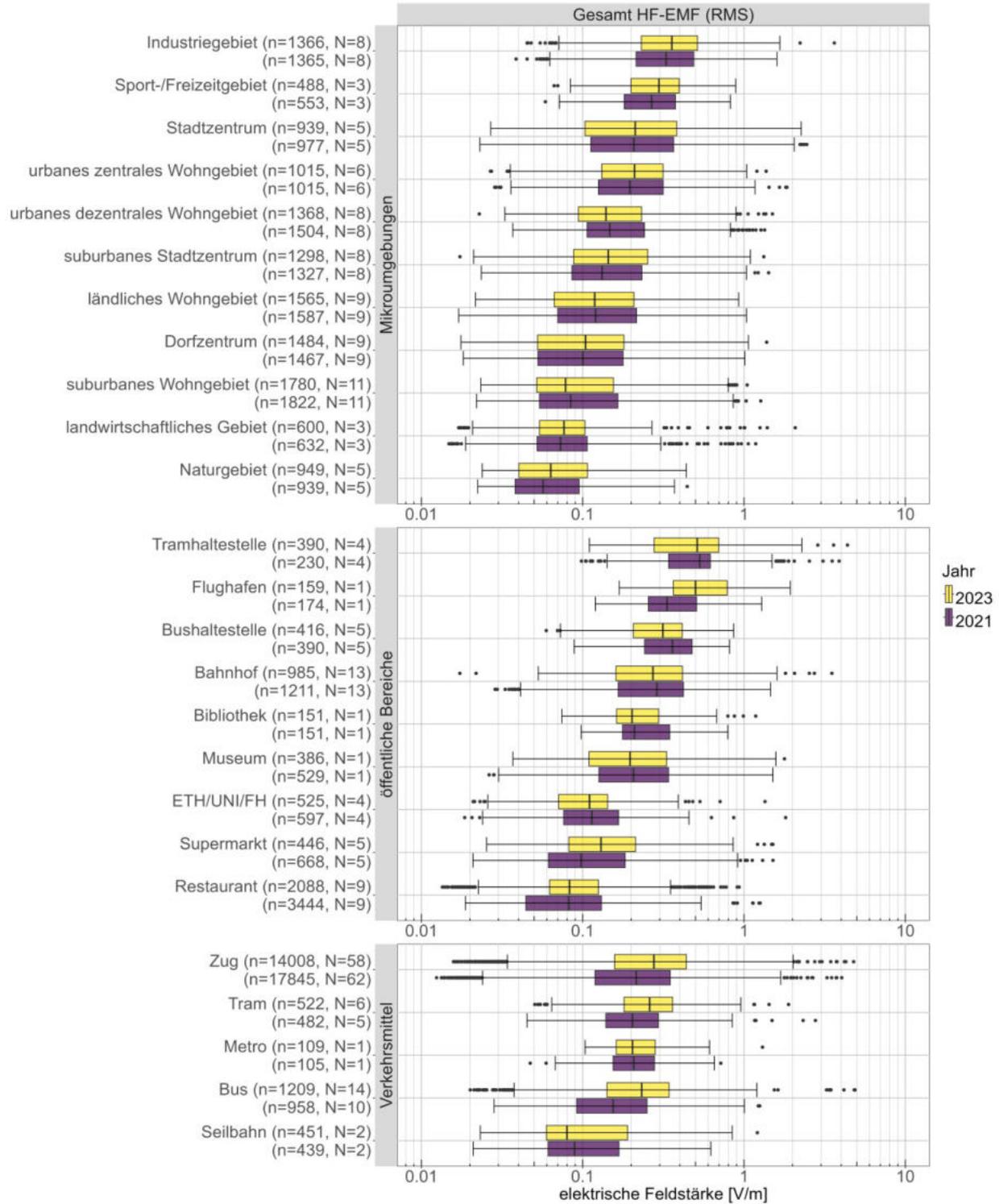


Abbildung 18: Vergleich der Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte in den gleichen Messumgebungen im Jahr 2021 (violett) und 2023 (gelb). Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten sind in Tabelle 26 aufgeführt.

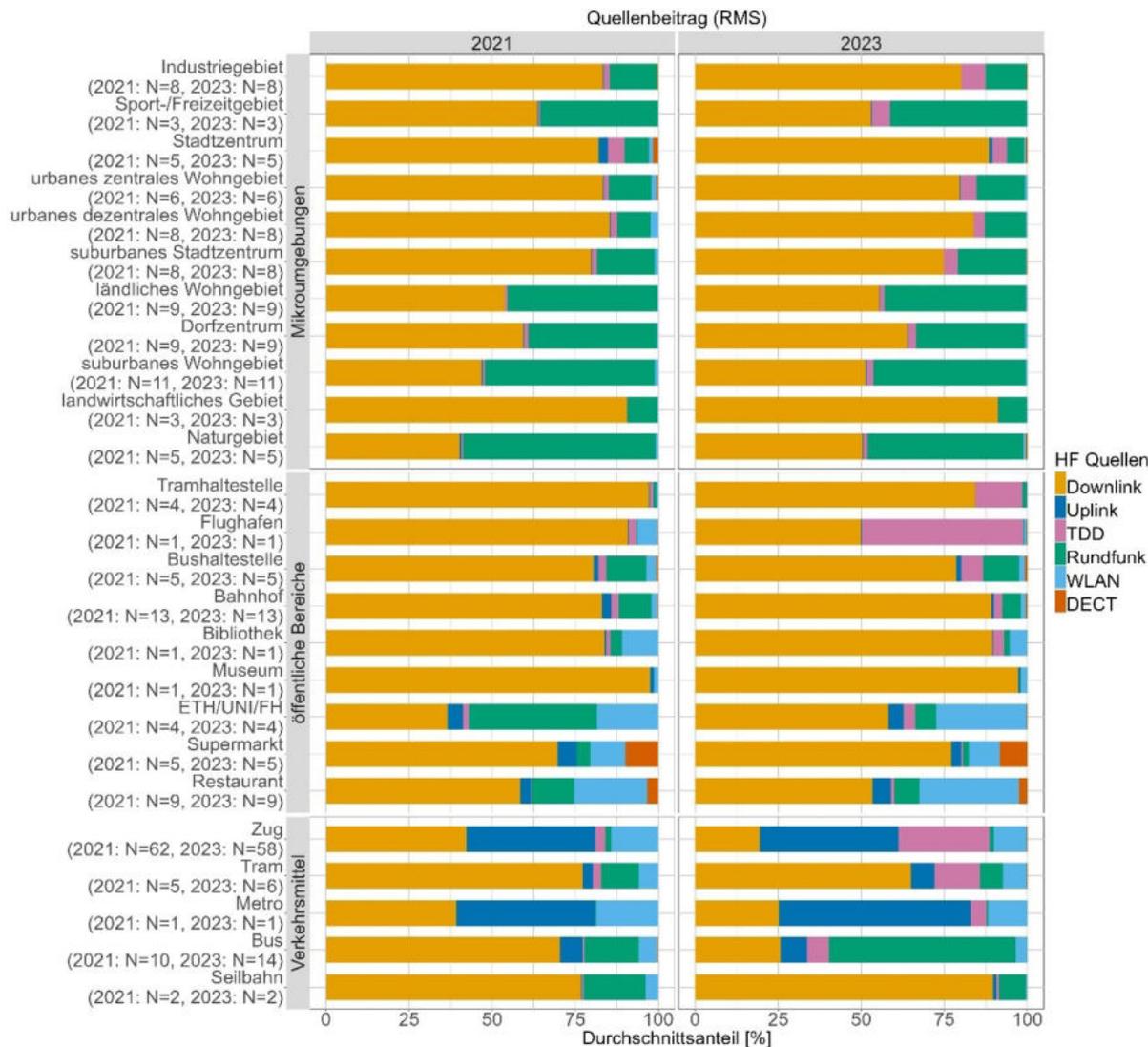


Abbildung 19: Der durchschnittliche Beitrag der RMS HF-Quellen für jeden Messumgebungstyp in den Jahren 2021 und 2023, wo jeweils in den gleichen Messumgebungen gemessen wurde. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und 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 27 aufgeführt.

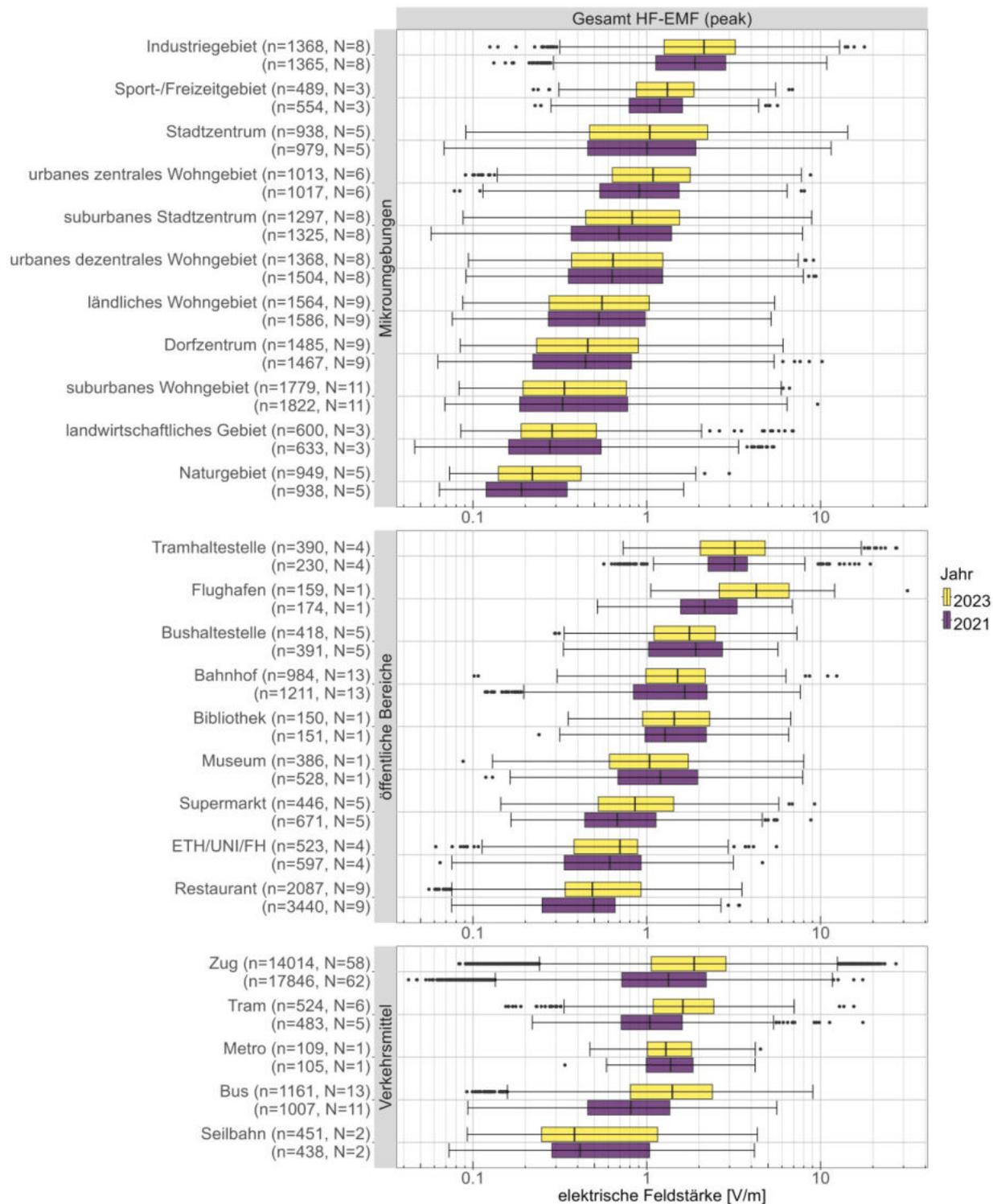


Abbildung 20: Vergleich der Verteilung der Peak HF-EMF Messwerte in den gleichen Messumgebungen im Jahr 2021 (violett) und 2023 (gelb). Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Extremwerte. „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten sind in Tabelle 28 aufgeführt.

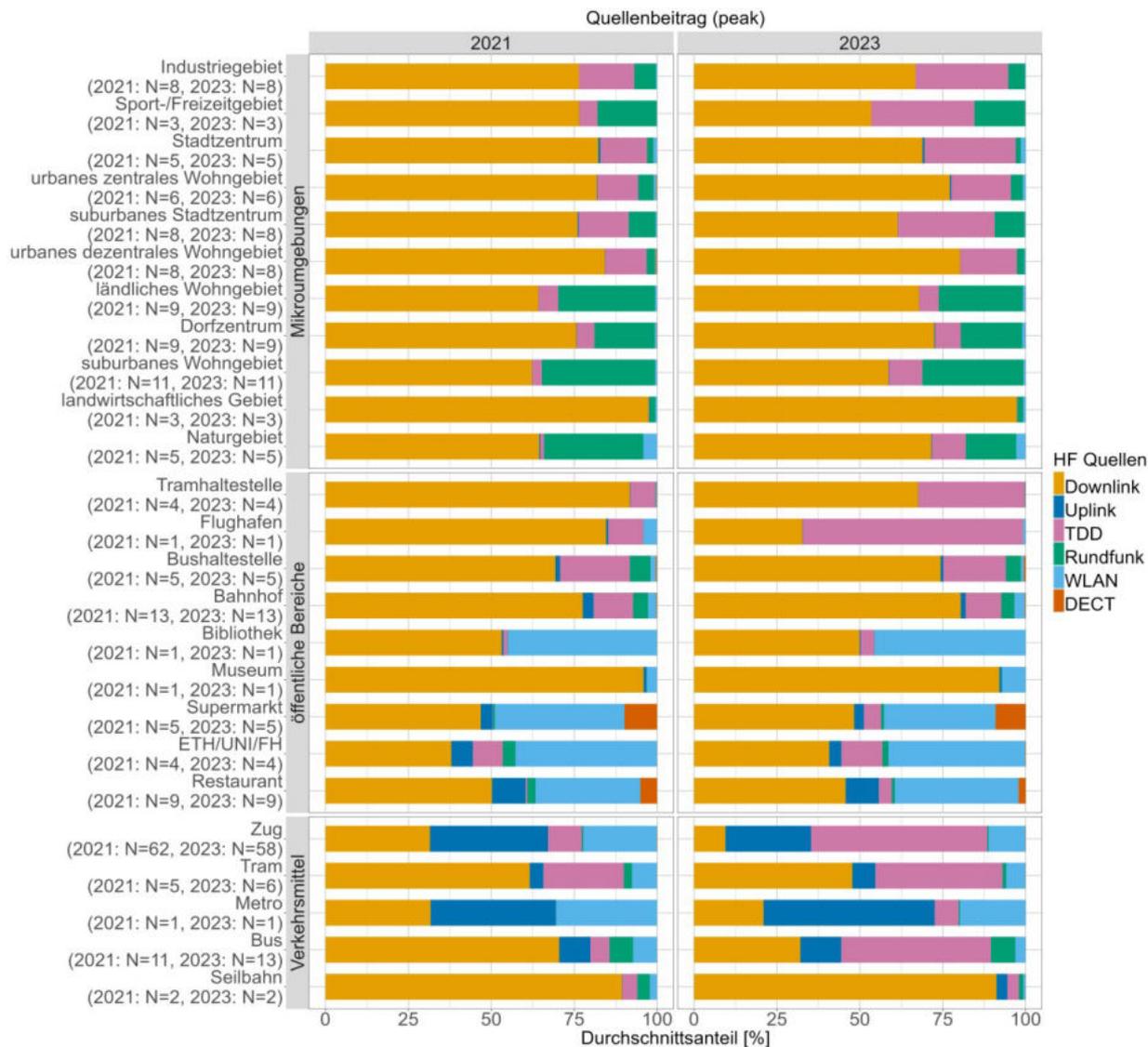


Abbildung 21: Der durchschnittliche Beitrag der RMS HF-Quellen für jeden Messumgebungstyp in den Jahren 2021 und 2023, wo jeweils in den gleichen Messumgebungen gemessen wurde. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und 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 zeigt den Vergleich der Verteilung der gesamten NF-Exposition der RMS-Werte im Jahr 2021 (violett) und im Jahr 2023 (gelb), wo jeweils am gleichen Ort gemessen wurde. In den meisten Messumgebungen blieben die RMS-Mediane innerhalb eines Bereichs von $\pm 0,02 \mu\text{T}$. Im Jahr 2023 war der Medianwert in Bahnhöfen etwas höher (2021: $0.19 \mu\text{T}$, 2023: $0.32 \mu\text{T}$) und bei Tramhaltestellen (2021: $0.31 \mu\text{T}$, 2023: $0.23 \mu\text{T}$), Zügen (2021: $0.42 \mu\text{T}$, 2023: $0.35 \mu\text{T}$) und der Metro etwas niedriger (2021: $0.12 \mu\text{T}$, 2023: $0.05 \mu\text{T}$).

In Abbildung 23 sind die mittleren relativen Beiträge der drei NF-Quellen in den Jahren 2021 und 2023 blau (Eisenbahnstrom), pink (Stromversorgung) und gelb (Tram-Rippelstrom) eingefärbt. Die gleichen

Beitragsmuster sind in den meisten Fällen zwischen 2021 und 2023 zu beobachten. Obwohl in jeder Umgebung Unterschiede in den prozentualen Beiträgen zu beobachten sind, bleibt der Hauptbeitrag ausser in den Bussen und Naturgebieten gleich. In Bussen und Naturgebieten stammt der Hauptbeitrag im Jahr 2021 vom Eisenbahnstrom (Bus: 62%, Naturgebiet: 55%), während er im Jahr 2023 von der Stromversorgung stammt (Bus: 67%, Naturgebiet: 83%). Diese Unterschiede können zum Teil durch die unterschiedliche Anzahl von Messungen in Bussen im 2021 (N=10) und 2023 (N=14) erklärt werden. In Naturgebieten ist die Exposition gering (2021-2023: 0.02 μ T), so dass einzelne höhere Messwerte in einem Jahr grosse Veränderungen im relativen Quellenbeitrag bewirken können.

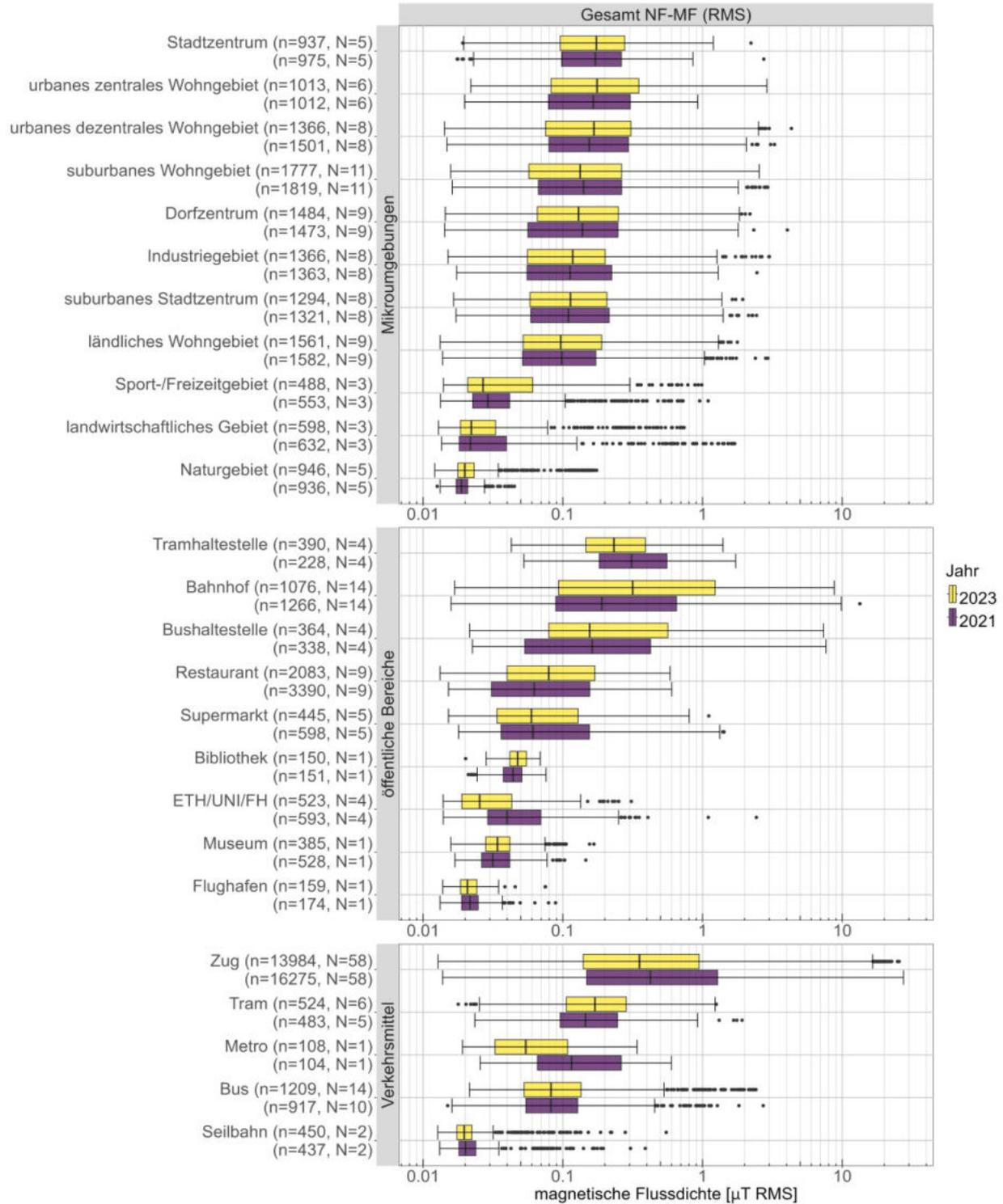


Abbildung 22: Vergleich der Verteilung der RMS NF-MF Messwerte in den gleichen Messumgebungen im Jahr 2021 (violett) und 2023 (gelb). Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot \text{IQR}$) 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.

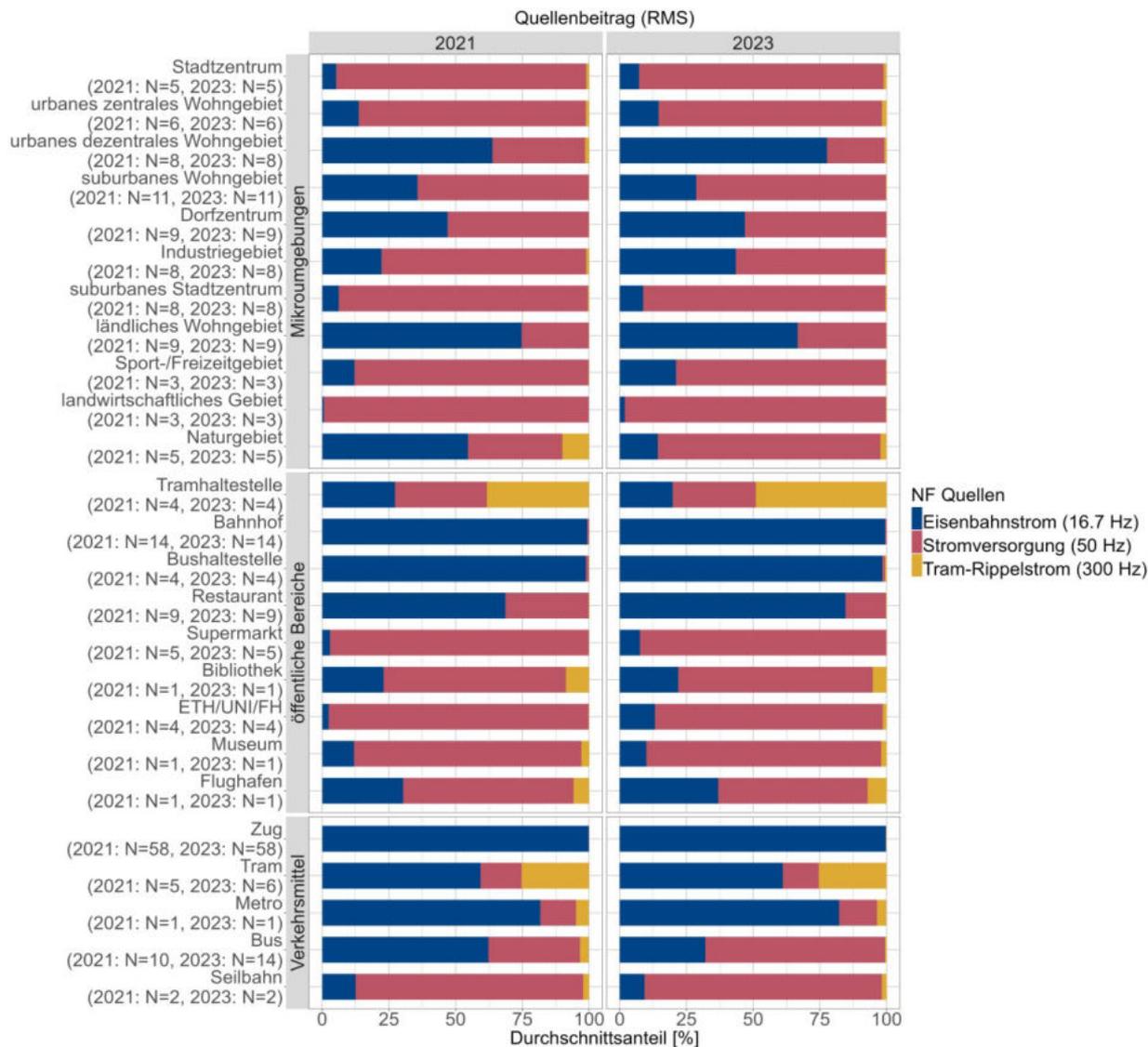


Abbildung 23: Der durchschnittliche Beitrag der NF-MF-Quellen für jeden Messumgebungstyp in den Jahren 2021 und 2023, wo jeweils an den gleichen Orten gemessen wurde. Die folgenden Frequenzbandgruppen sind berücksichtigt: Eisenbahnstrom (16.7 Hz), Stromversorgung (50 Hz), und Tram-Rippelstrom (300 Hz) mit ihren jeweiligen Harmonischen. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Beiträge der Quellen sind in Tabelle 31 aufgeführt.

3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen

3.2.1 HF-Exposition

In Abbildung 24 ist die Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte für alle 57 Liegenschaften, welche zwischen 2021 und März 2024 gemessen wurden (siehe Kapitel 2.2.1) dargestellt. Abbildung 25 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

einzelnen ausgewertet. Wie in Kapitel 2.1 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 57 vermessenen Liegenschaften befinden sich 29 in der Nähe von einer Mobilfunkbasisstation, vier in der Nähe eines Rundfunksenders und 24 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. 0.99 V/m (Peak) auf. Die prozentuale Zusammensetzung der elektrischen RMS-Gesamtfeldstärke gliedert sich im Mittel in folgende Dienstgruppen: Downlink: 72 %, Rundfunk: 20 %, WLAN: 5 %. Die entsprechende Peak-Gesamtfeldstärke setzt sich wie folgt zusammen: Downlink: 61 %, WLAN: 19 %, TDD: 8 % und Rundfunk: 6 %. Liegenschaften in der Nähe eines Radio/TV Senders weisen den grössten Medianwert der elektrischen Gesamtfeldstärke auf (RMS: 0.40 V/m, Peak: 1.85 V/m). Dabei betragen die RMS-Quellenbeiträge für Rundfunk 86 % und für WLAN 13 %. Bei den Peak-Werten tragen WLAN 72 % und Rundfunk 26 % bei. Für Liegenschaften, welche nicht wegen der Nähe zu einer vorgenannten HF-Quelle ausgewählt wurden («keine HF-Primärquelle»), beträgt der Medianwert 0.15 V/m (RMS) bzw. 1.05 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: WLAN: 40 %, Downlink: 31 %, Rundfunk: 23 % und DECT: 6 %. Die grössten Peak-Feldbeiträge ergeben sich für: WLAN: 82 %, Downlink: 9 %, DECT: 6 %.

Bei den *mobilen Messungen* weisen Standorte in der Nähe von Mobilfunkantennen einen Medianwert von 0.14 V/m (RMS) bzw. 0.87 V/m (Peak) auf. Die zwei grössten RMS-Quellen in dieser Kategorie sind der Downlink mit 70 % und der Rundfunk mit 24 %. Die Peak-Beiträge setzen sich aus 64 % Downlink, 21 % WLAN und 11 % Rundfunk zusammen. Für Messungen in der Nähe von Rundfunkanlagen beträgt der Median 0.27 V/m (RMS) bzw. 0.88 V/m (Peak), was zugleich den grössten RMS-Wert bei den mobilen Messungen darstellt. Die RMS-Feldbeiträge aus der Kategorie Rundfunk überwiegen mit 95 % stark. Die Peak-Gesamtfeldstärke beinhaltet Beiträge der Dienste Rundfunk 62 %, WLAN 33 % und Downlink 4 %. Wohnungen der Kategorie «keine HF-Primärquelle» weisen einen Expositionsmedian von 0.09 V/m (RMS) bzw. 0.61 V/m (Peak) auf. Die grössten RMS-Quellenbeiträge der Kategorie «keine HF-Primärquelle» sind: Downlink: 45 %, Rundfunk: 28 % und WLAN: 23 %. Die Peak-Beiträge stammen hauptsächlich von WLAN (62 %) und zu einem kleineren Teil von Downlink (25 %) und DECT (6 %).

Bei den *Langzeitmessungen* weisen Messstandorte in der Nähe von Mobilfunkanlagen einen Medianwert von 0.16 V/m (RMS) bzw. 0.85 V/m (Peak) auf. Die RMS-Hauptquelle ist mit 80 % der Downlink, gefolgt von Rundfunk mit 19 %. Die Peak-Gesamtfeldstärke beinhaltet 90 % Downlink und 7 % Rundfunk. Die Langzeitmessungen an Standorten mit Rundfunksendern weisen den grössten Median innerhalb der Gruppe mit einer elektrischen Gesamtfeldstärke von 0.35 V/m (RMS) bzw. 1.33 V/m (Peak) auf. Der Rundfunk liefert an diesem Standort mit 97 % den grössten RMS-Feldstärkebeitrag, gefolgt von Downlink mit 3 %. Auch bei der Peak-Gesamtfeldstärke dominieren Beiträge aus dem Rundfunk mit 83 %, gefolgt von Downlink mit 10 % und WLAN mit 5 %.

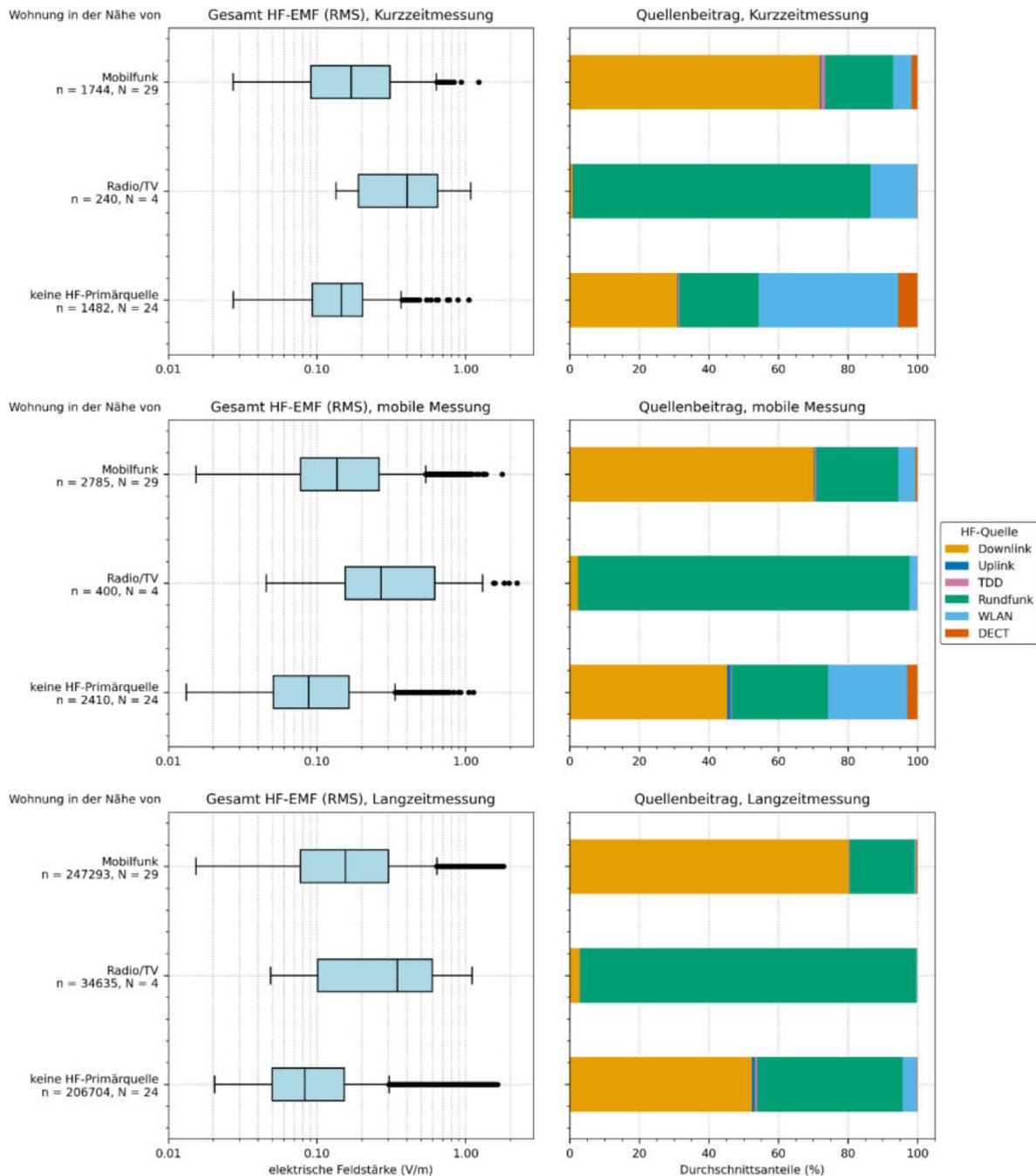


Abbildung 24: Verteilung der mit Gleichung (1) berechneten Gesamt-HF-EMF (RMS) Werte der Spotmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären HF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Liegenschaften ohne HF-Primärquelle sind zufällig ausgewählt 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 33 und Tabelle 34.

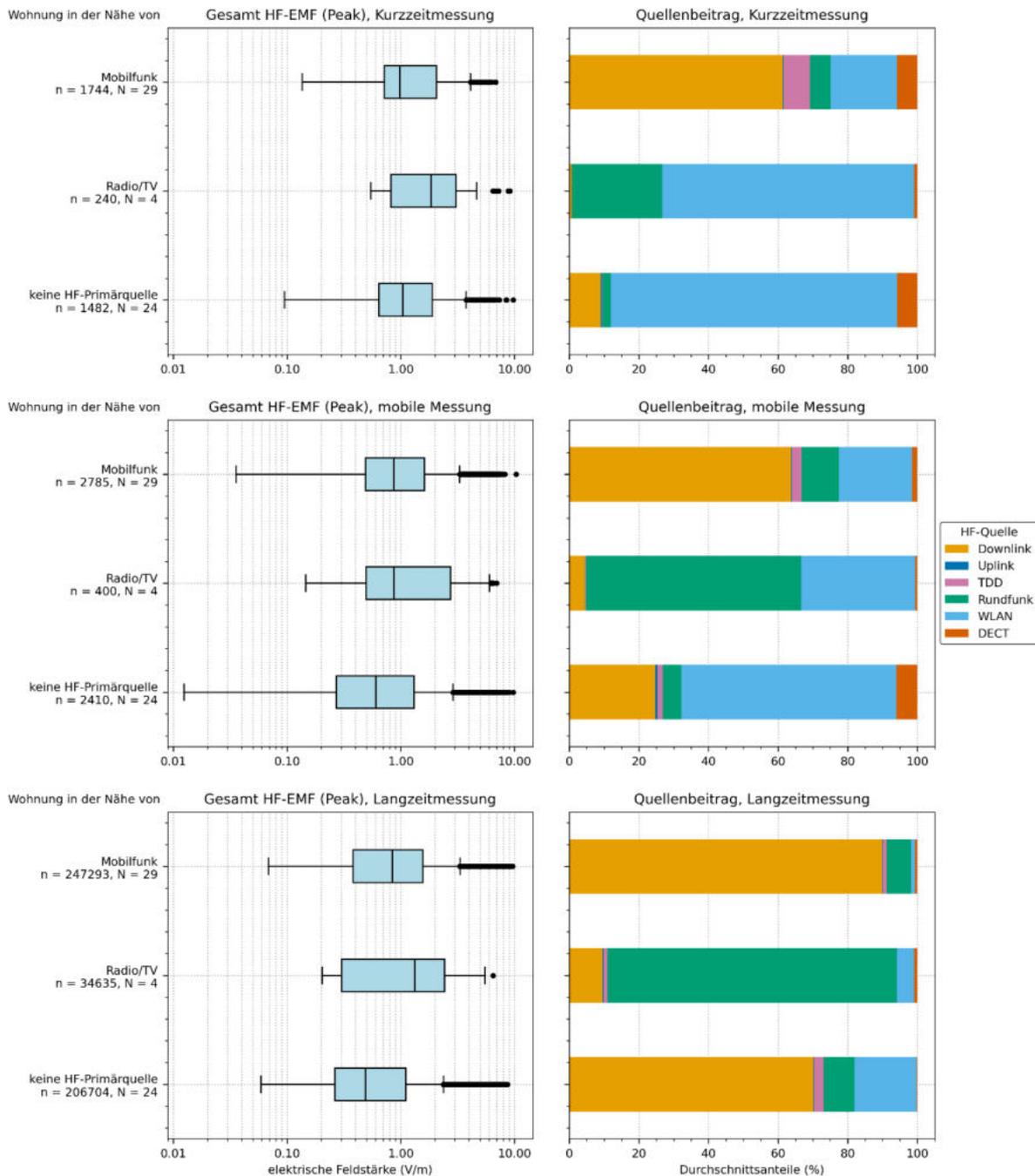


Abbildung 25: Verteilung der mit Gleichung (1) berechneten Gesamt-HF-EMF (Peak) Werte der Spotmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären HF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Liegenschaften ohne HF-Primärquelle sind zufällig ausgewählt 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 35 und Tabelle 36.

Die Kategorie «keine HF-Primärquelle» weist bei den Langzeitmessungen einen Feldstärkemedian von 0.08 V/m (RMS) bzw. 0.49 V/m (Peak) auf. Der Downlink und der Rundfunk liefern die RMS-Hauptbeiträge mit 53 % und 42 %, respektive. Die Peak-Hauptbeiträge stammen mit 70 % und 18 % vom Downlink und WLAN.

Die statistischen Kenndaten für die in Abbildung 24 dargestellten Messdaten befinden sich im Anhang, gruppiert nach den Teilmessungen (Tabelle 33 und Tabelle 34). Die Kenndaten für Abbildung 25 befinden sich in Tabelle 35 und Tabelle 36.

Abbildung 26 und Abbildung 27 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 24, sind die Mittelwerte der RMS-Daten meist etwas höher. Dies gilt auch für die Mittelwerte bei den Peak-Daten in Abbildung 27, verglichen mit den Medianwerten aus Abbildung 25. Das Muster der Mittelwerte zwischen den drei Primärquellenkategorien ist ähnlich wie jenes bei den Medianwerten in Abbildung 24 und Abbildung 25.

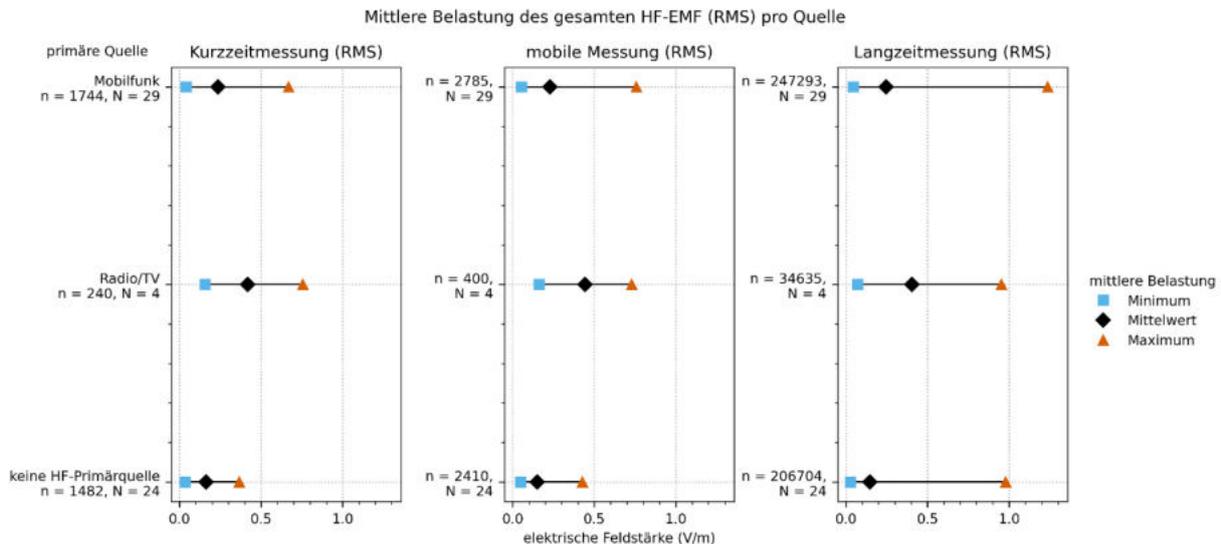


Abbildung 26: Spannweite des nach Gleichung (4) berechneten quadratischen Mittelwerts (RMS) der elektrischen Gesamtfeldstärke für jede Messung innerhalb einer Primärquellenkategorie. Für die Berechnung wurden RMS-Datenpunkte verwendet. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp 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 37 des Anhangs.

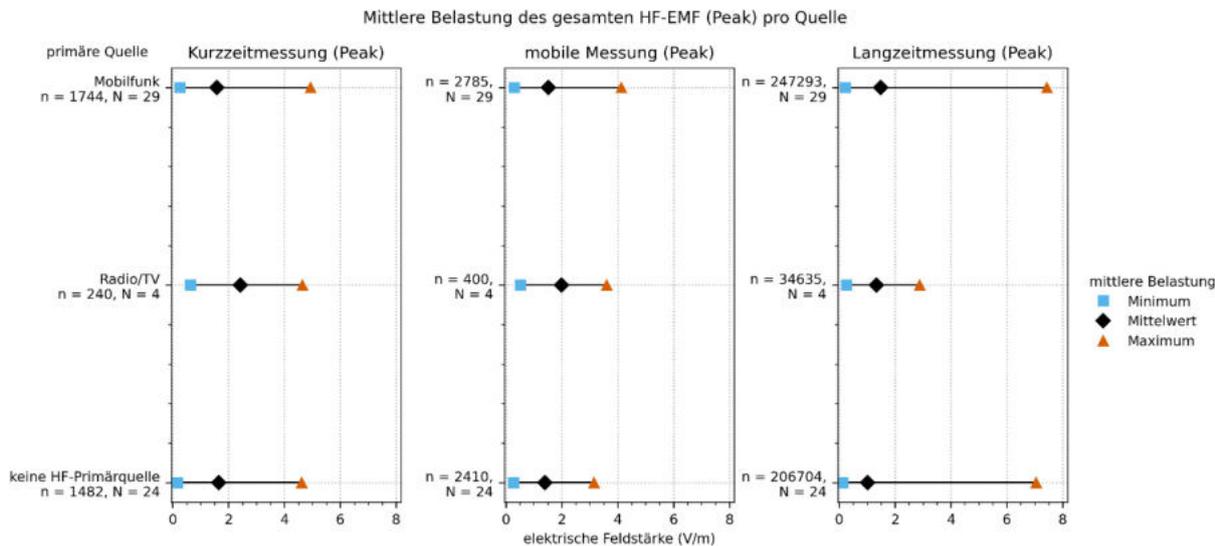


Abbildung 27: Spannweite des nach Gleichung (4) berechneten quadratischen Mittelwerts (Peak) der elektrischen Gesamtfeldstärke für jede Messung innerhalb einer Primärquellenkategorie. Für die Berechnung wurden Peak-Werte verwendet. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp 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 27 befinden sich in Tabelle 38 im Anhang.

3.2.2 NF- Exposition

Die Verteilung der magnetischen Gesamtflussdichte aller RMS NF-MF Messpunkte ist in Abbildung 28 dargestellt. Die Daten der Kurzzeitmessung, der mobilen Messung und der Langzeitmessung werden dabei einzeln ausgewertet. Die statistischen Kenndaten für die Verteilungen befinden sich in Tabelle 39. Die prozentuale Zusammensetzung der Quellenbeiträge an der magnetischen Gesamtflussdichte wird in der rechten Spalte von Abbildung 28 gezeigt und die Kenndaten sind in Tabelle 40 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 57 vermessenen Liegenschaften befinden sich fünf in der Nähe von einer zweispurigen Eisenbahnlinie, vier in der Nähe von einer einspurigen Eisenbahnlinie, zwei oberhalb eines Eisenbahntunnels, jeweils eine in der Nähe einer Traminie oder einer Trafostation und insgesamt elf in der Nähe von einer 220/380 kV, 36-150 kV oder 1-36 kV Freileitung. Die restlichen 33 Wohnungen wurden nicht wegen der Nähe zu einer NF-Quelle ausgewählt (Abbildung 28). 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 einer

anderen Liegenschaft oberhalb eines Tunnels mit einspuriger Eisenbahnlinie wurde der höchste Expositionsmedian bei Bahnlinien dieser Teilmessungskategorie beobachtet (0.25 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 paraktisch identisch wie die jeweiligen Kurzzeitemessungen. Bei der *Langzeitmessung* liegen die Werte leicht tiefer mit 0.07 μT für Messungen in der Nähe von zweispurigen Eisenbahnlinien, 0.05 μT in der Umgebung von einspurigen Eisenbahnlinien und 0.18 μT bei der Einzelmessung mit einspurigem Tunnel. Die Liegenschaft oberhalb eines zweispurigen Eisenbahntunnels weist hingegen einen erhöhten Median von 1.32 μT 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 beinahe 100 %. 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 μT für die *Kurzzeitmessung* auf. Für die *mobile Messung* beläuft sich der Median auf 0.06 μT und für die *Langzeitmessung* auf 0.09 μT . 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 0.27 und 0.33 μT gemessen. Die gemessenen Maximalwerte liegen in dieser Kategorie zwischen 1.68 und 2.07 μT . Die Verteilung wird massgeblich von einer Liegenschaft beeinflusst, bei welcher Messwerte über dem vorsorglichen Anlagegrenzwert von 1 μT der NISV festgestellt wurden. Die drei Messungen in der Nähe von 36-150 kV Freileitungen resultieren in kleineren Medianwerten von 0.16 bis 0.18 μT als bei den Höchstspannungsleitungen. Die Maximalwerte liegen für diese Quellengruppe zwischen 0.3-0.4 μT . 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 μT . Die Medianwerte bei einer Wohnung in der Nähe einer Trafostation liegen mit 0.07 bis 0.09 μT 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 87-93 % 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 0.04-0.05 μT 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 μT). Der Anteil an der Gesamtflussdichte liegt beim Eisenbahnstrom je nach Teilmessung zwischen 31 % und 36 % und die Anteile der Stromversorgung liegen zwischen 63 % und 68 %. Die Beiträge von Tramlinien sind bei den 33 Messungen ohne Primärquelle klein und liegen unter 1 %.

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
 Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS
 23.05.2024

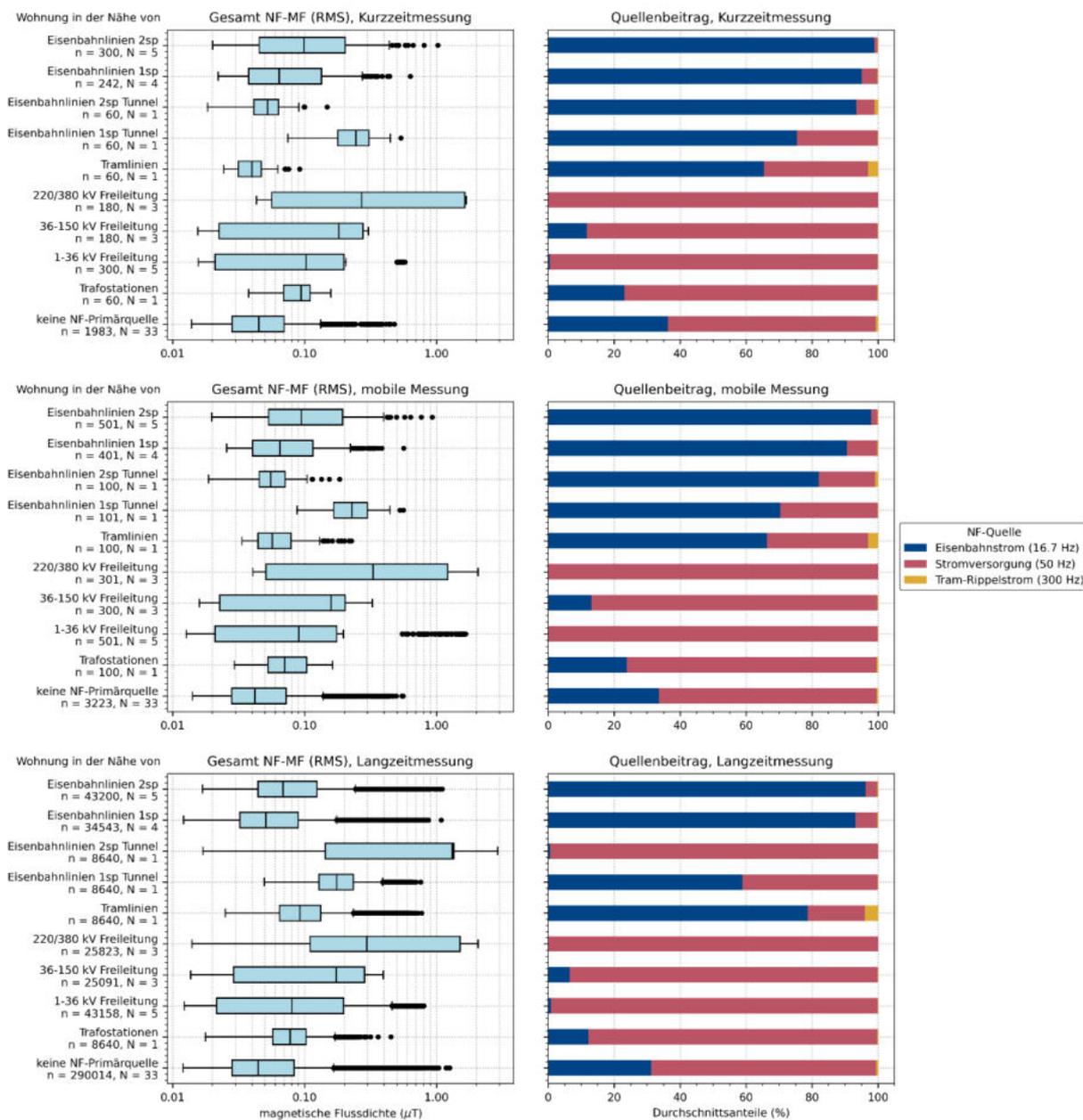


Abbildung 28: Verteilung der mit Gleichung (2) berechneten RMS NF-MF Werte der Spotmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären NF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Liegenschaften ohne NF-Primärquelle sind zufällig ausgewählt und 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 Kenndaten befinden sich in Tabelle 39 und Tabelle 40 des Anhangs.

Die mittlere Exposition der gesamten niederfrequenten magnetischen Flussdichte ist in Abbildung 29 für jede Primärquelle dargestellt. Verglichen mit den Medianwerten in Abbildung 28 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. Dies bedeutet, dass bei den entsprechenden Messungen die magnetische Gesamtflussdichte mehrheitlich über 1 μT lag.

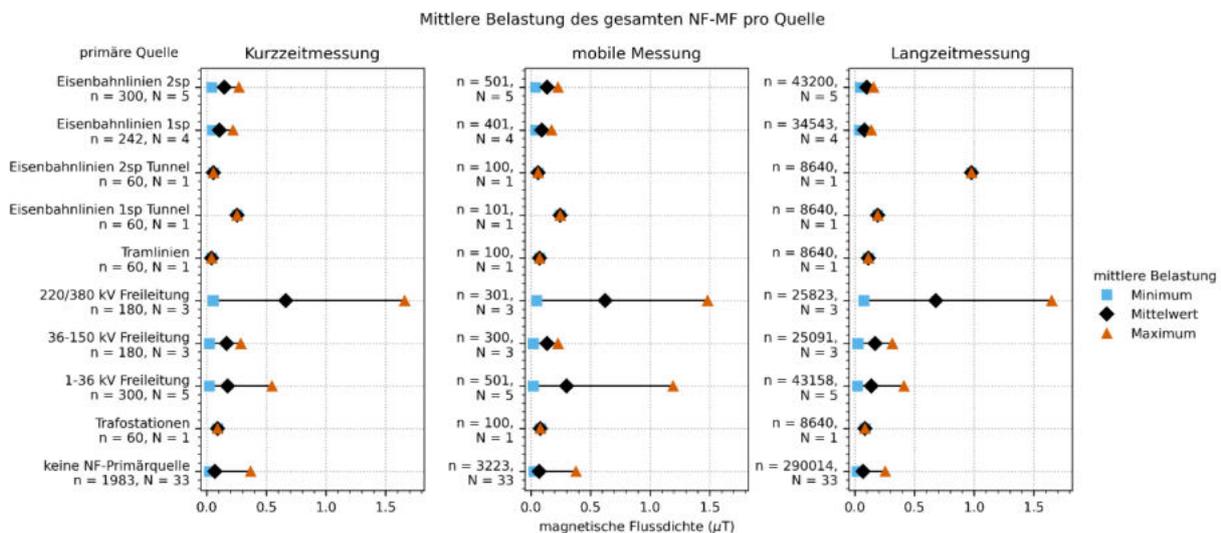


Abbildung 29: Spannweite der nach Gleichung (5) berechneten NF-MF magnetischen Gesamtflussdichte für jede Primärquelle. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender Gesamtflussdichten, siehe Gleichung (10). Die linke und rechte Begrenzung zeigen die tiefste und 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 41 des Anhangs aufgeführt.

3.3 Stationäre Dauermessungen

Die Auswertung der stationären Dauermessungen umfasst den gesamten Zeitraum des Jahres 2023 bei allen fünf in Kapitel V beschriebenen Messstationen.

Der zeitliche Verlauf der elektrischen Feldstärke für die RMS- und Peak-Werte in Neuenburg ist in Abbildung 30 dargestellt. Unterbrüche aufgrund von Stromausfällen, Batterieentladungen und Kabelbrüchen und Wartungsfenstern führen zu Lücken im Feldstärkeverlauf. Die in Abbildung 30 und dem Anhang gezeigten Linienplots erstrecken sich über das gesamte Jahr 2023. Die Auflösung ist nicht ausreichend, um tägliche Gangkurven erkennen zu können, jedoch treten Schwankungen und insbesondere Feldstärke Spitzen über die gesamte Messdauer deutlich zu Tage. Analoge Abbildungen für die anderen vier Standorte befinden sich im Anhang (Abbildung 48 - Abbildung 51). Beim Rundfunk treten bei allen Messstationen hohe Peak-Werte auf. Diese stammen aus dem für das FM-Broadcasting genutzte HF-EMF Band Nr. 1 mit einer Mittenfrequenz von 97.75 MHz und einer erfassten Bandweite von 35 MHz, siehe Tabelle 2. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre die unerwünschte Einkopplung von RF-Signalen in das USB-Ladekabel. Die genaue Ursache der hohen Peak-Werte wird derzeit noch untersucht.

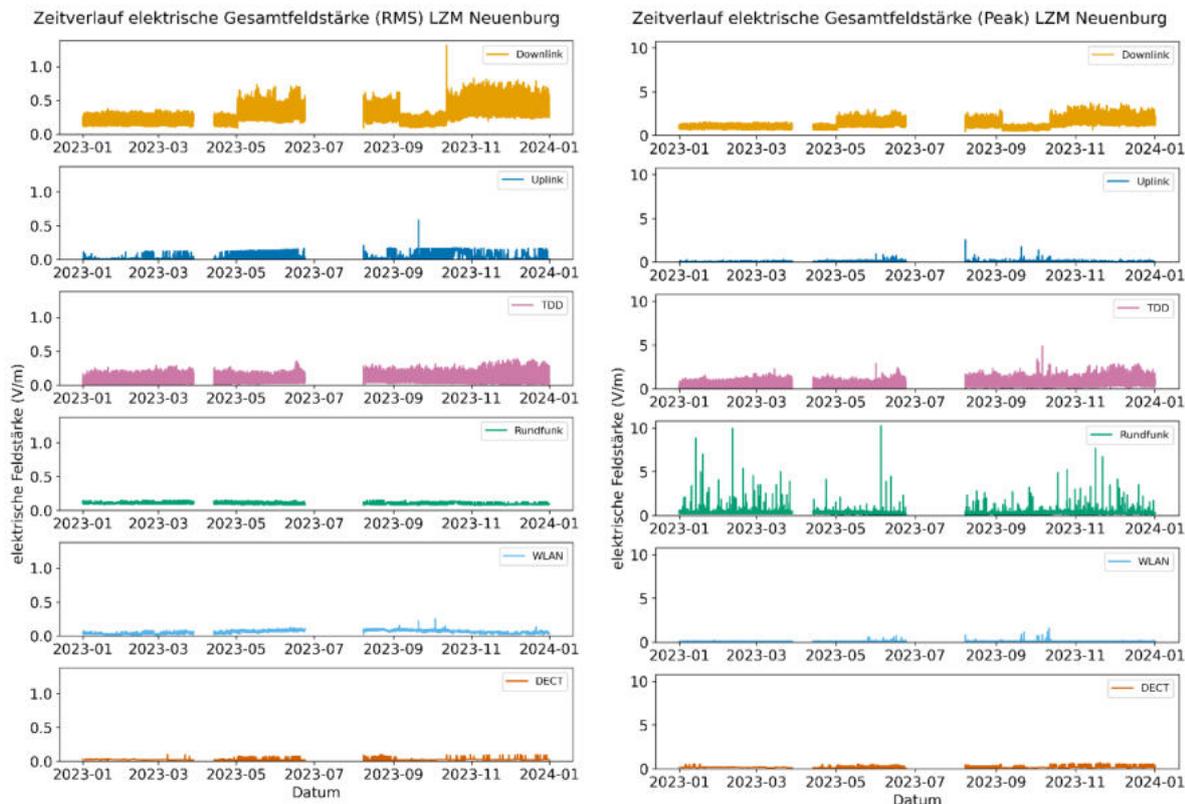


Abbildung 30: Elektrischer Feldstärkeverlauf der stationären Dauermessungen für das Jahr 2023 am G+P Standort in Neuenburg, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt. Die Feldstärkeverläufe der übrigen Messstationen sind im Anhang V, Abbildung 48 - Abbildung 51, gegeben.

Abbildung 31 und Abbildung 32 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 2.5 Millionen. Für die Kategorie Downlink wurden am Standort Zürich die grössten Mediane festgestellt mit 1.06 V/m (RMS) und 5.25 V/m (Peak). Die niedrigsten Feldstärkewerte dieser Kategorie finden sich am Standort in Neuenburg mit 0.24 V/m (RMS) und 1.14 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. In Deitingen und Neuenburg sind die Uplink-Feldstärken besonders niedrig mit 0.01 V/m (RMS) und 0.03 V/m bzw. 0.01 V/m (Peak). In der Kategorie TDD erstrecken sich die RMS-Feldstärken von 0.04 V/m (RMS) in Deitingen und Neuenburg bis zu 0.15 V/m (RMS) in Zürich. Die Peak-Mediane reichen von 0.36 V/m (Peak) in Neuenburg bis zu 3.79 V/m (Peak) in Aarau. Die erfassten RMS-Rundfunk-Mediane sind in Aarau mit 0.33 V/m (RMS) am grössten, gefolgt von Allschwil 0.32 V/m (RMS), Zürich 0.30 V/m (RMS), Deitingen 0.13 V/m (RMS) und Neuenburg 0.10 V/m (RMS). Die Peak-Mediane für den Rundfunk lauten nach absteigender Grösse geordnet: Allschwil 1.4 V/m (Peak), Aarau 1.21 V/m (Peak), Zürich 1.07 V/m (Peak), Deitingen 0.36 V/m (Peak) und Neuenburg 0.27 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 mit 0.08 V/m (RMS) am grössten, gefolgt von Zürich mit 0.07 V/m (RMS). In Deitingen, Aarau und Neuenburg sind die erfassten WLAN-Medianwerte

0.06 V/m (RMS). Die Peak-Medianwerte für WLAN lauten in absteigender Reihenfolge: Zürich 0.29 V/m (Peak), Deitingen 0.11 V/m (Peak), Allschwil 0.08 V/m (Peak), Neuenburg 0.06 V/m (Peak), Aarau 0.05 V/m (Peak). Die Feldstärkewerte für DECT liegen zwischen 0.06 V/m (RMS), 0.42 V/m (Peak) in Allschwil und 0.05 V/m (RMS), 0.02 V/m (Peak) in Deitingen.

Verteilung elektrische Feldstärke (RMS) nach Quellenkategorie

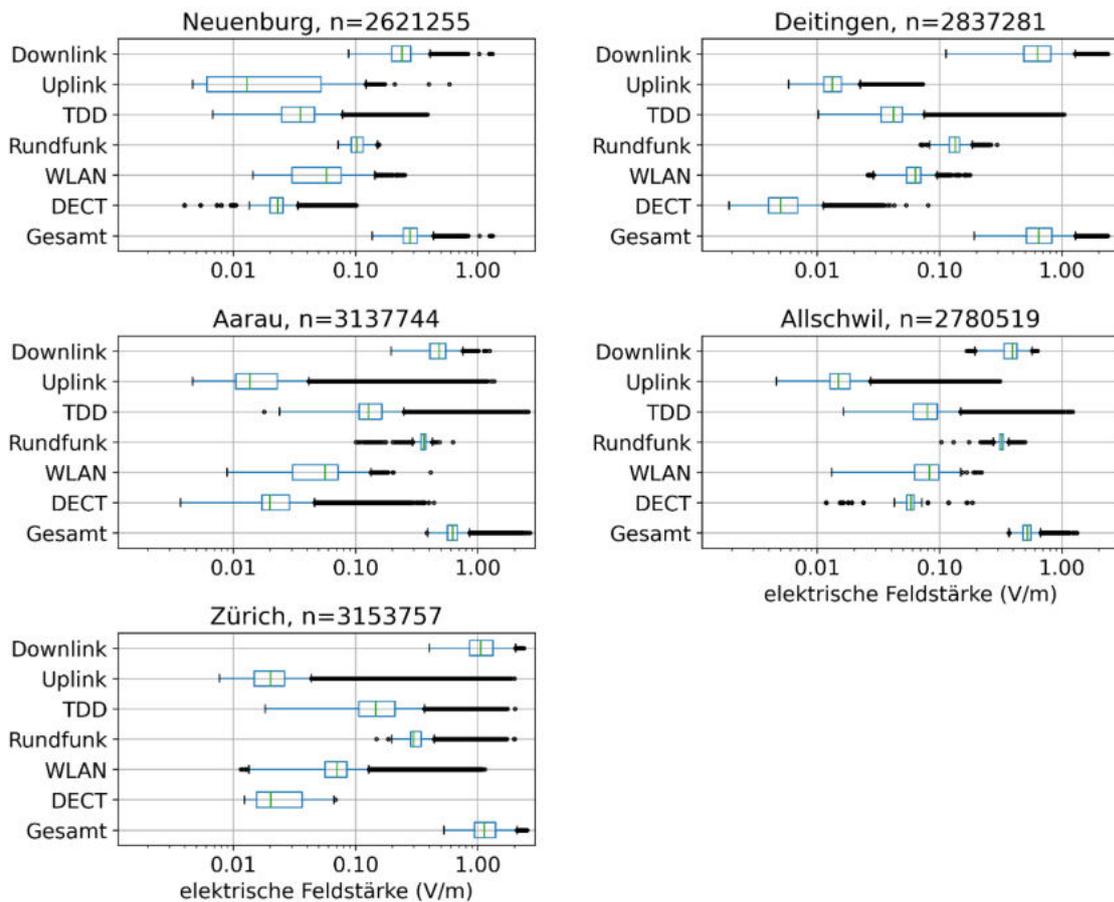


Abbildung 31: Verteilung der elektrischen Feldstärke (RMS) der Dauermessstationen nach Quellenkategorie – Downlink, Uplink, TDD (Time division duplex), Rundfunk, WLAN und DECT. Die aus allen Kategorien resultierende Gesamtfeldstärke ist unter Gesamt dargestellt. Jeder Messstandort ist in einem eigenen 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 2023 durchgeführt wurden, sind im Titel jeder Grafik neben der Standortbezeichnung aufgeführt. Die statistischen Kenndaten befinden sich in Tabelle 43 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 1.13 V/m, Deitingen 0.65 V/m, Aarau 0.62 V/m, Allschwil 0.52 V/m, Neuenburg 0.28 V/m. Die Medianwerte der Peak-Gesamtfeldstärkewerte betragen in absteigender Reihenfolge: Zürich 5.96 V/m, Aarau 5 V/m, Deitingen 3.86 V/m, Allschwil 2.76 V/m und Neuenburg 1.27 V/m.

Verteilung elektrische Feldstärke (Peak) nach Quellenkategorie

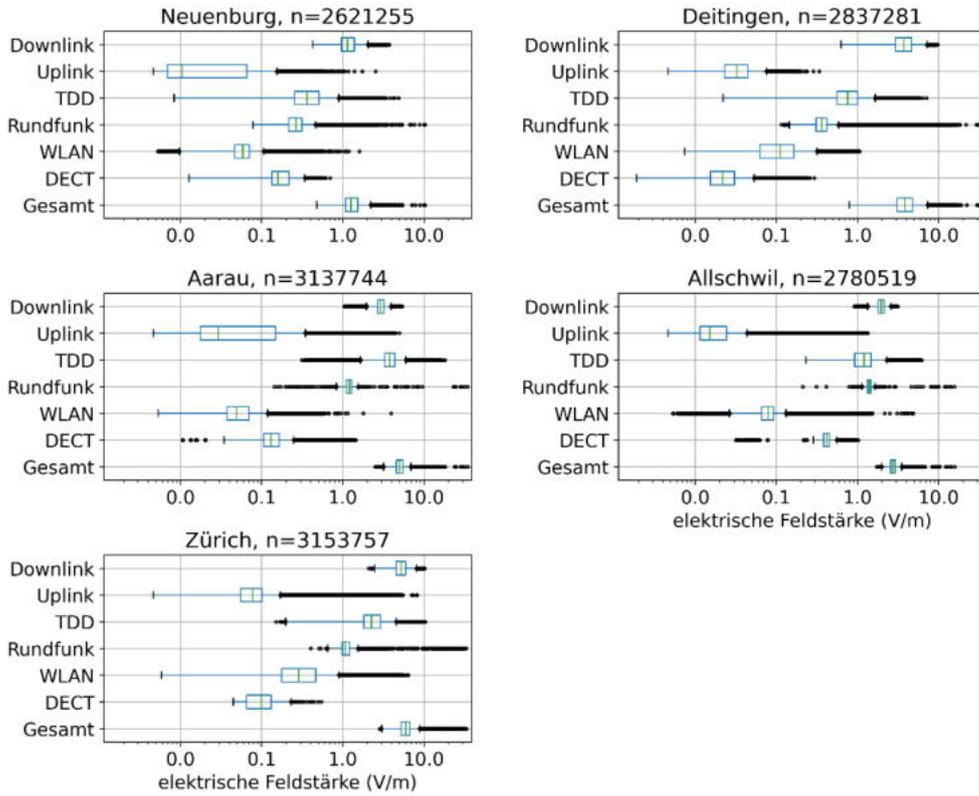


Abbildung 32: Verteilung der elektrischen Feldstärke (PEAK) der Dauermessstationen nach Quellenkategorie – Downlink, Uplink, TDD, Rundfunk, WLAN und DECT. Die aus allen Kategorien resultierende Gesamtfeldstärke ist unter Gesamt dargestellt. Jeder Messstandort ist in einem eigenen Panel dargestellt. Die 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 2023 durchgeführt wurden, sind im Titel jeder Grafik neben der Standortbezeichnung aufgeführt. Die statistischen Kenndaten befinden sich in Tabelle 42 des Anhangs.

Prozentuale Zusammensetzung Gesamtfeldstärke

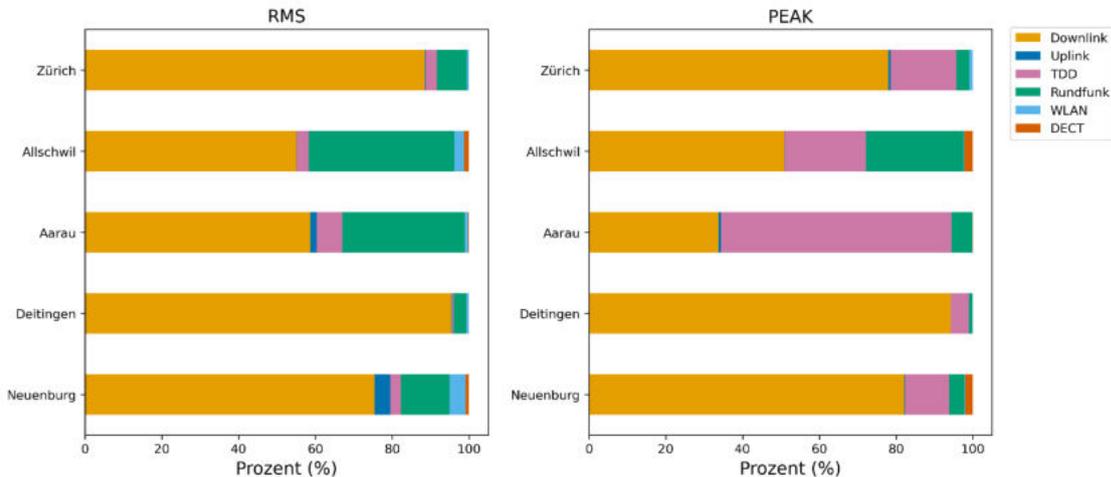


Abbildung 33: Prozentuale Zusammensetzung der Funkdienste an der Gesamtfeldstärke der Dauermessstationen, gruppiert nach Standort. Linkes Panel: RMS-Zusammensetzung. Rechtes Panel: Anteile der Peak-Werte.

Aus der in Abbildung 33 gezeigten Quellenzusammensetzung der RMS-Gesamtfeldstärke ist ersichtlich, dass die Downlinkanteile bei allen Messstandorten mehr als die Hälfte der Gesamtfeldstärke betragen (55-95 %). Der Rundfunk ist die zweitgrösste Quelle mit 38 % in Allschwil, 32 % in Aarau, 13 % in Neuenburg, 8 % in Zürich und 3 % in Deitingen. In Aarau ist der TDD-Anteil mit 7 % am höchsten. Der WLAN-Beitrag liegt nur in Neuenburg mit 4 % und in Allschwil mit 3 % über der Einprozentmarke. Bei den Peak-Werten sind die Downlink-Feldbeiträge in Deitingen mit 94 %, in Neuenburg mit 82 % und in Zürich mit 78 % deutlich dominierend. In Allschwil liegt der Downlink-Peakanteil bei 51 %, gefolgt von Rundfunk (25 %) und TDD (21 %). In Aarau verursachen TDD-Feldstärkespitzen mit 60 % die grössten Beiträge, gefolgt von Downlink (34 %) und Rundfunk (5 %).

Die kumulativen Verteilungsfunktion in Abbildung 34 zeigen die Expositionverteilung 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: 2.54 V/m, IQR: 0.46 V/m). Die Spannweite ist bei der Station in Deitingen am grössten (Min: 0.19 V/m, Max: 2.38 V/m, IQR: 0.32 V/m). Die Station in Aarau (Min: 0.38 V/m, Max: 2.67 V/m, IQR: 0.12 V/m) weist oberhalb des vierzigsten Perzentils die dritthöchsten Verteilungswerte auf und ist leicht höher als die Verteilung der RMS-Gesamtfeldstärkewerte in Allschwil (Min: 0.37 V/m, Max: 1.33 V/m, IQR: 0.08 V/m). Neuenburg hat die Feldstärkeverteilung mit den niedrigsten Werten (Min: 0.14 V/m, Max: 1.32 V/m, IQR: 0.07 V/m).

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

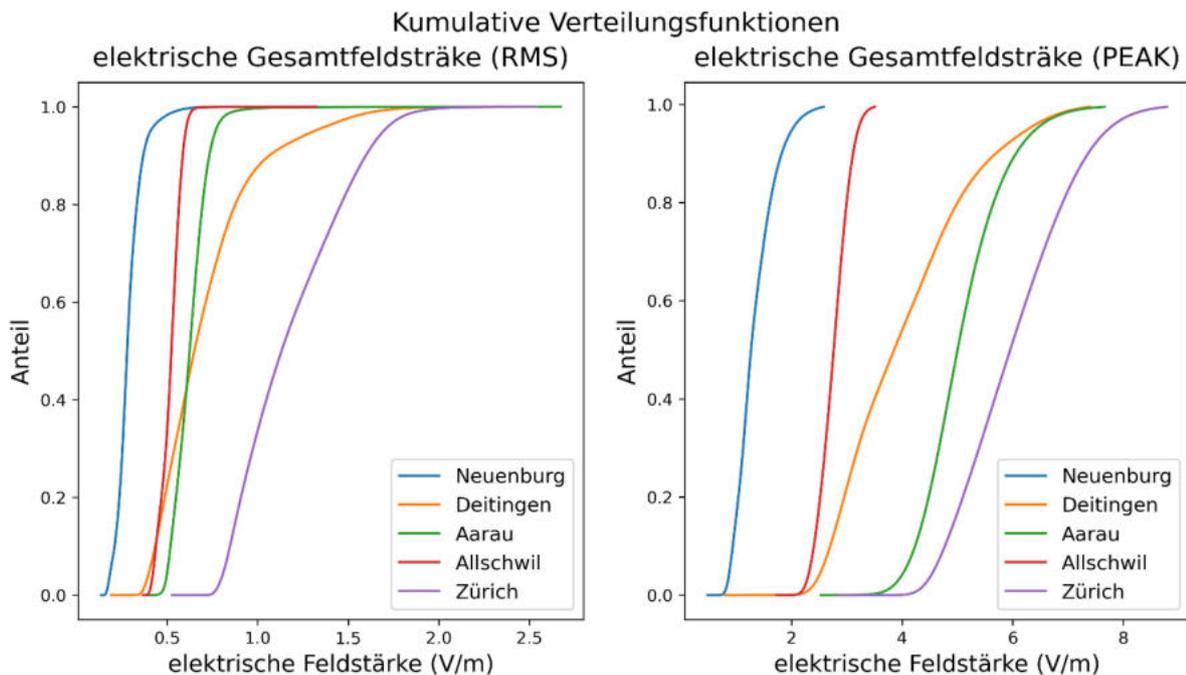


Abbildung 34: Kumulative Verteilungsfunktion der elektrischen Gesamtfeldstärke für jeden stationären Messstandort. Links ist die Verteilung der RMS-Gesamtfeldstärke dargestellt und auf der rechten Seite die Peak-Gesamtfeldstärkeverteilung. Aufgrund der hohen Werte im FM-Band wird die kumulative Verteilung nur bis zu 99.5 % dargestellt.

Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen die RMS, respektive Peak Verteilung der elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat aggregiert. Bei der Station in Neuenburg liegen die RMS-Medianwerte während den ersten vier Monaten zwischen 0.24 und 0.26 V/m. Danach liegen die Medianwerte im Mai, Juni und August zwischen 0.28 V/m und 0.30 V/m. Aufgrund eines Gerätedefekts liegen für den Monat Juli keine Daten vor. Die Medianwerte für den Zeitraum September bis Dezember liegen zwischen 0.24 V/m und 0.35 V/m. In Deitingen liegen die RMS-Werte während der ersten fünf Monate zwischen 0.70 V/m und 0.80 V/m. Während der Monate Juni bis September nehmen die RMS-Feldstärken ab und liegen zwischen 0.47 V/m und 0.52 V/m. Anschliessend steigt der monatliche Median wieder bis auf 0.94 V/m an. Die Station in Aarau weist eine sehr geringe Schwankung der RMS-Werte über die Monate auf (0.60 V/m bis 0.66 V/m). Auch in Allschwil sind die monatlichen Schwankungen gering (0.50 V/m bis 0.55 V/m). Am ETH Standort in Zürich liegen die RMS-Feldstärken zwischen 1.11 V/m und 1.23 V/m während der ersten sechs Monate des Jahres und sinken danach auf zwischen 1.01 V/m und 1.07 V/m während der Monate Juli, August und September. Für die übrigen Monate steigen die Werte wieder an und liegen zwischen 1.13 V/m und 1.22 V/m. Die Peak-Feldstärkewerte weisen ähnliche jahreszeitliche Muster auf.

Verteilung elektrische Gesamtfeldstärke nach Monat (RMS)

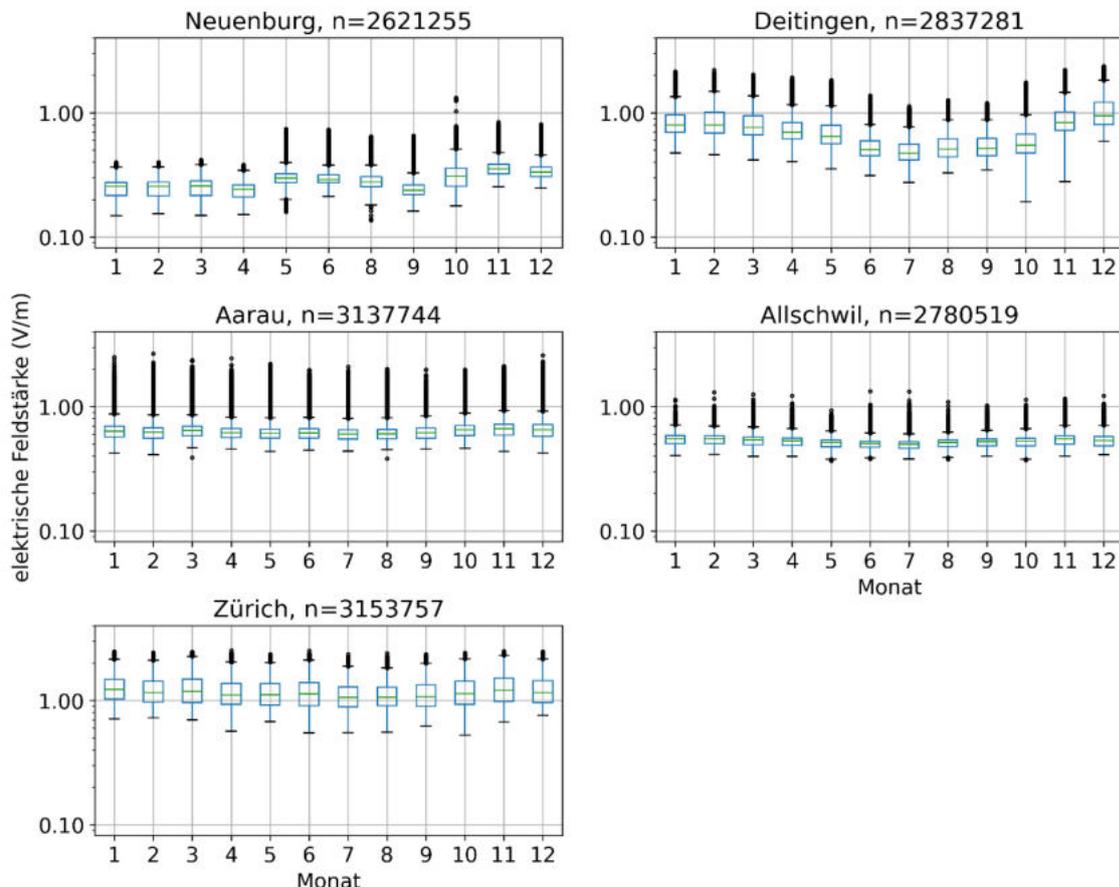


Abbildung 35: Verteilung der RMS elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat. Die einzelnen Panels zeigen die Verteilungen der stationären Standorte. n gibt die Anzahl an Messungen jeder Station im Jahr 2023 an. Zwecks besserer Vergleichbarkeit erstrecken sich die Ordinaten über einen identischen Wertebereich.

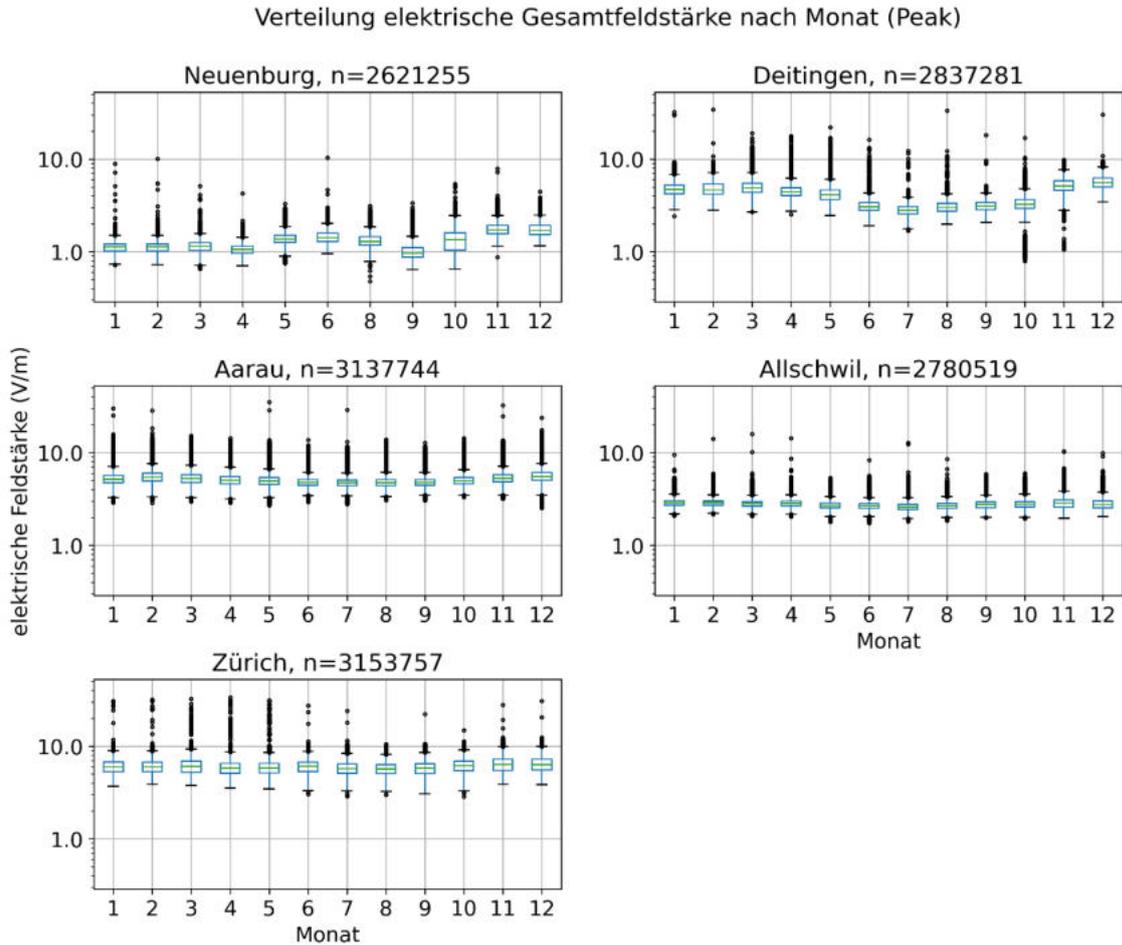


Abbildung 36: Verteilung der Peak elektrischen Gesamtfeldstärke nach Monat. Die einzelnen Panels zeigen die Verteilungen der stationären Standorte. n gibt die Anzahl an Messungen jeder Station im Jahr 2023 an. Zwecks besserer Vergleichbarkeit erstrecken sich die Ordinaten über einen identischen Wertebereich.

Da sich die Dauermessstationen alle in der Nähe von Mobilfunkantennen befinden, siehe Abbildungen Abbildung 43 bis Abbildung 47 im Anhang, kann die Zusammensetzung der elektrischen Feldstärke der Mobilfunkfrequenzbänder in Abhängigkeit der Zeit untersucht werden. Abbildung 37 (RMS) und Abbildung 38 (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)

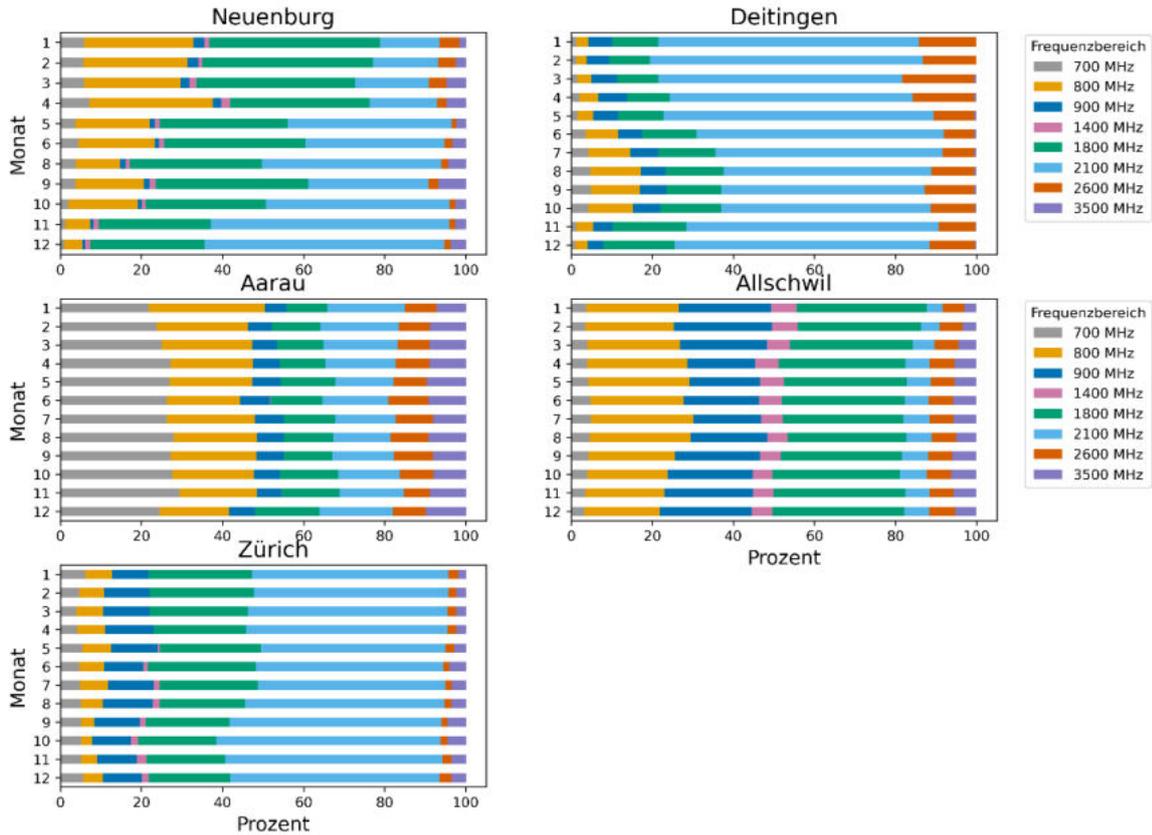


Abbildung 37: Prozentuale Beiträge der Mobilfunkfrequenzbänder an der durch den Mobilfunk verursachten Gesamtfeldstärke (RMS), aggregiert nach Monat.

Zusammensetzung elektrische Feldstärke Frequenzbänder Mobilfunk (PEAK)

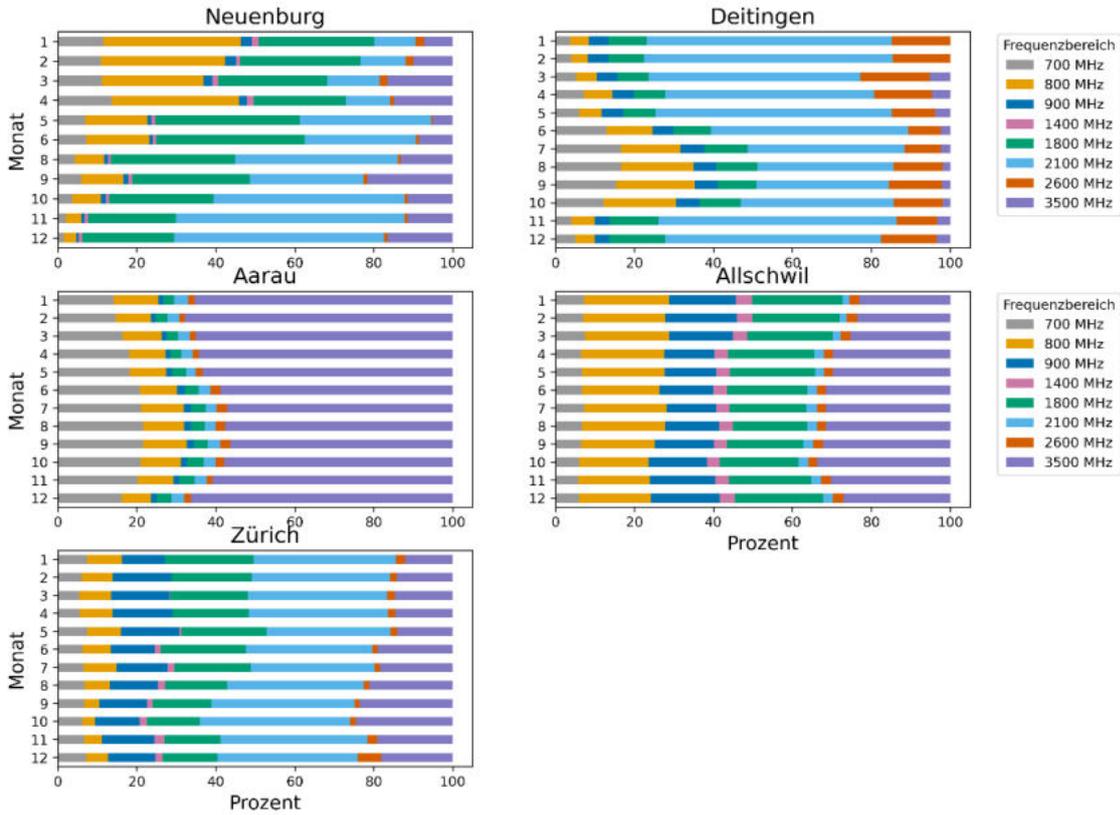


Abbildung 38: Prozentuale Beiträge der Mobilfunkfrequenzbänder an der durch den Mobilfunk verursachten Gesamtfeldstärke (Peak), aggregiert nach Monat.

Abbildung 39 und Abbildung 41 zeigen die Verteilung der RMS- bzw. Peak-Werte für jede Stunde des Tages im Jahr 2023. Deutlicher erkennbar sind die standortabhängigen Tagesganglinie in Abbildung 40 und Abbildung 42 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.

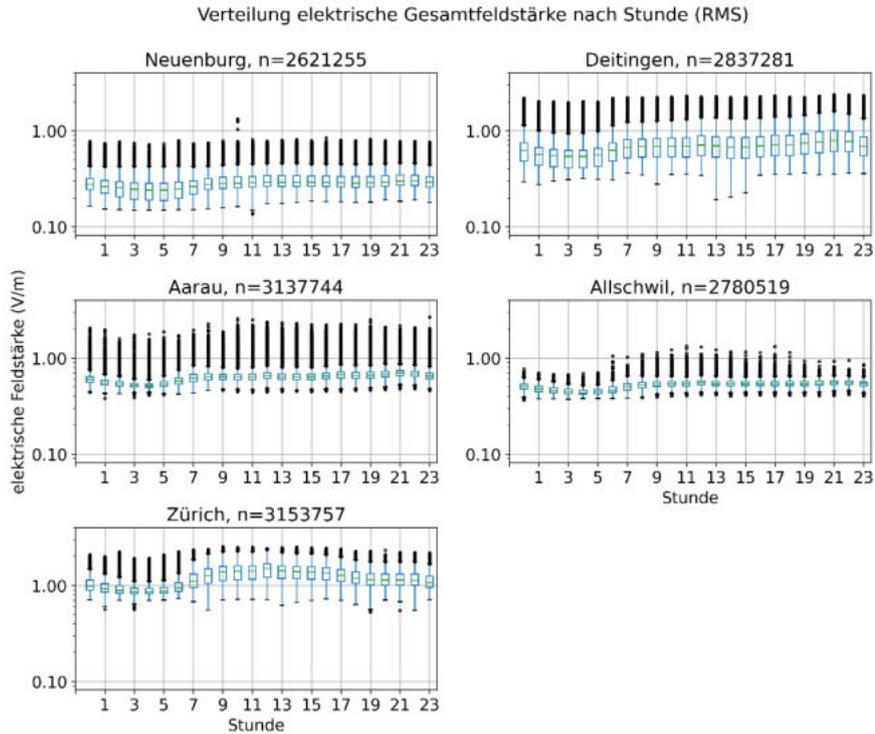


Abbildung 39: Verteilung der elektrischen RMS-Gesamfeldstärke nach Stunde. Das erste Intervall wird mit 0 Uhr bezeichnet und umfasst die Zeitspanne auf dem rechteffenen Intervall [00:00, 01:00), während das zweite Zeitintervall 1 den Zeitbereich von [01:00-02:00) umfasst, usw. Die Feldstärkeachsen erstrecken sich über einen identischen Bereich.

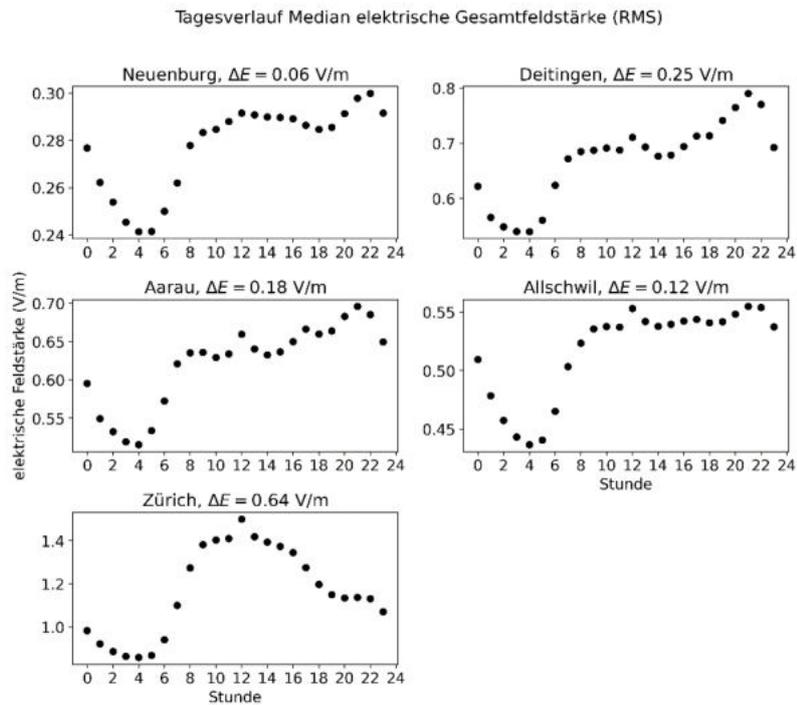


Abbildung 40: Tagesverläufe der Medianwerte aus Abbildung 39. Um die zeitlichen Verläufe der Medianwerte besser sichtbar zu machen, weisen die Feldstärkeachsen unterschiedliche Wertebereiche auf. Die maximale Tagesschwankung der Medianwerte ist durch den ΔE -Wert gegeben.

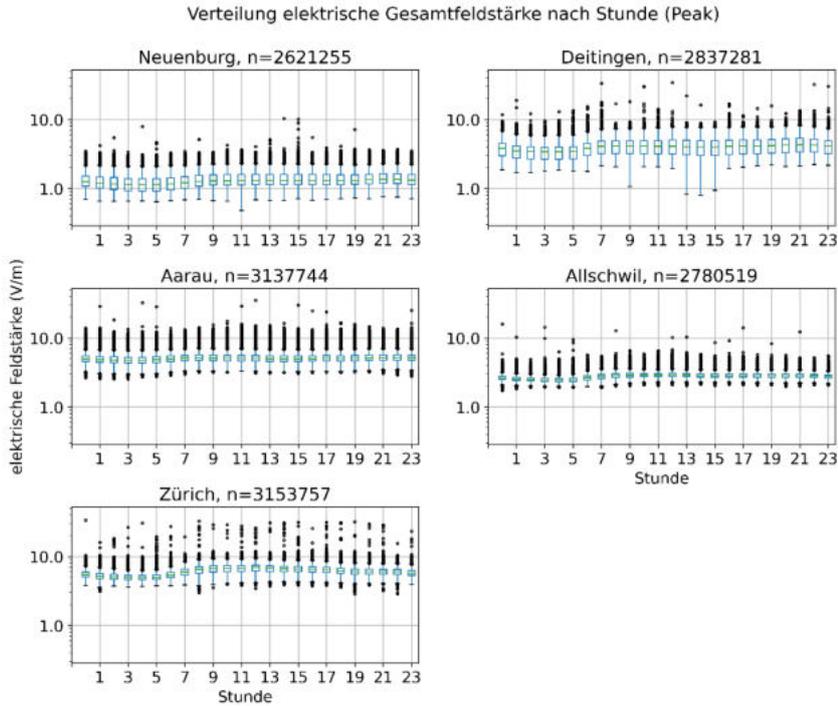


Abbildung 41: Verteilung der elektrischen Peak-Gesamtfeldstärke nach Stunde. Das erste Intervall wird mit 0 Uhr bezeichnet und umfasst die Zeitspanne auf dem rechteffenen Intervall [00:00, 01:00), während das zweite Zeitintervall 1 den Zeitbereich von [01:00-02:00) umfasst, usw. Die Feldstärkeachsen erstrecken sich über einen identischen Bereich.

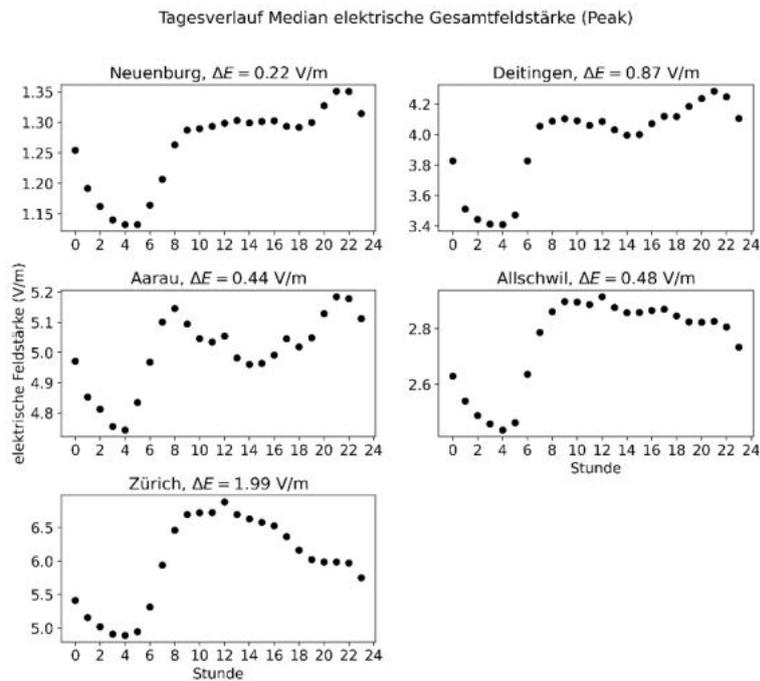


Abbildung 42: Tagesverläufe der Medianwerte aus Abbildung 41. Um die zeitlichen Verläufe der Medianwerte besser sichtbar zu machen, weisen die Feldstärkeachsen unterschiedliche Wertebereiche auf. Die maximale Tagesschwankung der Medianwerte ist durch den ΔE -Wert gegeben.

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 werden Daten vom ersten Messzyklus von insgesamt 300 Mikroumgebungen, 188 öffentlichen Orten und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln, welche zwischen Juli 2021 und Juni 2023 erhoben wurden, dargestellt. Zusätzlich werden die bereits im Jahresbericht 2021 [2] analysierten Routenmessungen in 75 Mikroumgebungen, 43 öffentlichen Bereichen und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln mit den in der zweiten Jahreshälfte 2023 erhobenen Daten in den gleichen Messumgebungen verglichen. Eine vertiefte Analyse wird für alle Messungen in Schulen präsentiert. Bei den Spotmessungen handelt es sich bei den präsentierten Daten in diesem Jahresbericht um 57 Liegenschaften, die zwischen 2021 und Januar 2024 vermessen wurden. Zum ersten Mal werden exemplarisch ausgewählte Ergebnisse von den fünf Dauermessstandorten präsentiert.

4.1 Routenmessungen

4.1.1 Erster abgeschlossener Messzyklus der Routenmessungen

Beim ersten abgeschlossenen Messzyklus der Routenmessungen reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) bei den Mikroumgebungen von 0.07 V/m in Naturgebieten bis 0.30 V/m in Industriegebieten (Abbildung 9). Die Medianwerte der HF-EMF (RMS) nehmen tendenziell mit zunehmender Urbanisierung zu. Das höchste 95. Perzentil (Q95) liegt aber in Industriegebieten bei 0.83 V/m. In den öffentlichen Bereichen reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.08 V/m in Supermärkten bis 0.48 V/m bei Flughäfen. Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel weisen höhere Medianwerte (HF: 0.29 – 0.39 V/m) auf als Bereiche im Gebäudeinneren, wie Supermärkte, Schulen oder Bibliotheken (HF: 0.08 – 0.12 V/m). In Innenräumen werden die Emissionen der Mobilfunkantennen abgeschirmt. In öffentlichen Verkehrsmitteln reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.09 V/m in Seilbahnen bis 0.24 V/m in der Metro und in Zügen. Die berichteten Werte sind mit Studienergebnissen aus dem Ausland vergleichbar [9-11].

In Bezug auf NF-MF liegen die Medianwerte (RMS) in den Mikroumgebungen zwischen 0.02 μ T in Naturgebieten und 0.19 μ T in Stadtzentren (Abbildung 13). Die Medianwerte der NF-MF (RMS) nehmen mit zunehmender Urbanisierung generell zu. Die höchsten Spitzenwerte wurden aber in Industriegebieten beobachtet. Das 95. Perzentil (Q95) liegt bei 0.77 μ T. Dies erklärt sich durch eine Messung in der Nähe eines Kraftwerks (mit maximaler mittlerer NF-MF Belastung: 1.48 μ T), wo mehrere Hochspannungsleitungen verlaufen. In öffentlichen Bereichen reichen die Medianwerte der NF-MF (RMS) von 0.02 μ T in Flughäfen bis 0.38 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 (5.28 μ T) und Bahnhöfen (3.36 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 13% bzw. 6% ausgeschöpft.

4.1.2 Messungen an Schulen

Die Zusatzauswertungen umfassten die Ergebnisse von 28 NF- und HF-Messungen an neun Schulen (drei Primar-, vier Sekundarschulen, zwei Gymnasien). 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 0.16 V/m auf einem tiefen Niveau (Abbildung 16). 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: 71-84%), allerdings auf tiefem Niveau. Im Gebäudeinneren ist die Gesamtbelastung nochmals reduziert, wobei der Hauptteil der Belastung dann vom WLAN (36%) stammt. In den Pausen steigt der durch Mobiltelefone verursachte Strahlungsanteil leicht an (Uplink: 20%). Ein maximaler Mittelwert der HF-Belastung (RMS: 0.87 V/m) wird in einem «Pausenplatz – aussen» in der Nähe eines grossen Bahnhofs erreicht, innerhalb dieser Schule beträgt die mittlere Belastung 0.15 V/m.

Die in den Schulen gemessenen HF-EMF Werte sind ähnlich wie in anderen internationalen Studien. Im Rahmen der SCAMP-Studie [12] wurden persönliche HF-EMF Messungen bei 188 Jugendlichen aus London zwischen 2015 und 2018 durchgeführt. In dieser Studie betragen die Medianwerte der HF-EMF Exposition in den Schulen 0.19 V/m. Dies entspricht den höchsten Medianwerten, die hier am «Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen» gemessen wurden (RMS-Median: 0.12 V/m). In 102 Primarschulen in Amsterdam [13] wurde in Klassenzimmern ohne Schüler eine mittlere Belastung von 0.16 V/m gemessen. Dieses Ergebnis liegt zwischen unseren Messungen auf dem «Pausenplatz - innen mit Schüler*innen» (RMS-HF: 0.15 V/m) und auf dem «Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen» (RMS HF: 0.23 V/m).

Im Vergleich mit anderen Messungen im öffentlichen Bereich zeigt sich die mittlere NF-Belastung in Schulen mit 0.13 μ T auf einem tiefen Niveau (Abbildung 17). Die Bandbreite der mittleren Belastung an Schulen deckt sich mit der Belastung im öffentlichen Bereich. Ein maximaler Mittelwert der NF-Belastung (RMS: 0.91 μ T) wird in einem «Pausenplatz – aussen» in der Nähe eines grossen Bahnhofs erreicht, innerhalb dieser Schule beträgt die mittlere Belastung zwischen 0.56 und 0.71 μ T. 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 [14], wo im Durchschnitt in 26 Schulen auf dem Schulhof und in den Klassenzimmern 0.015 μ T bzw. 0.017 μ T gemessen wurde.

4.1.3 Vergleich 2021/2023 bei Routenmessungen

Die Routenmessungen wurden in den Jahren 2021 und 2023 in denselben 75 Mikroumgebungen und 43 öffentlichen Bereichen, zur selben Tageszeit (+- eine Stunde) und zur selben Jahreszeit (+- eine Woche) wiederholt. Die Vergleiche für die einzelnen Messumgebungen sind in Abbildung 18 bis Abbildung 21 dargestellt. Zusammenfassend zeigt Tabelle 32 die Median- und Mittelwerte für alle Mikroumgebungen, öffentliche Bereiche und öffentliche Verkehrsmittel.

Die mediane HF-Gesamtexposition blieb in Mikroumgebungen und an öffentlichen Bereichen über die zwei Jahre relativ konstant (0.13 - 0.14 V/m) während sie in öffentlichen Verkehrsmitteln etwas zugenommen hat (2021: 0.21 V/m, 2023: 0.27 V/m). Peak-Werte nahmen in den Mikroumgebungen nur

wenig zu (2021: 0.60 V/m, 2023: 0.65 V/m), aber etwas stärker in öffentlichen Bereichen (2021: 0.67 V/m, 2023: 0.94 V/m) und in Verkehrsmitteln (2021: 1.26 V/m, 2023: 1.78 V/m). Was die RMS-Mittelwerte betrifft, die empfindlicher auf hohe Werte reagieren, hat die Gesamt-HF EMF Exposition in Mikroumgebungen (2021: 0.27 V/m, 2023: 0.28 V/m) kaum und in öffentlichen Bereichen (2021: 0.29 V/m, 2023: 0.35 V/m) und in Verkehrsmitteln (2021: 0.32 V/m, 2023: 0.41 V/m) etwas deutlicher zugenommen. Ähnlich wie bei den RMS-Werten ist auch bei den mittleren Peak-Werten im Vergleich zu den Median-Werten ein stärkerer Anstieg zu verzeichnen, insbesondere im Verkehr (2021: 1.97 V/m, 2023: 3.01 V/m). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass an Orten mit starker Mobilfunknutzung die HF-EMF Exposition zwischen 2021 und 2023 etwas zugenommen hat, während in ländlichen Gebieten und Orten mit geringerer Nutzung keine nennenswerte Veränderung stattfand. Die tendenzielle Zunahme der HF-EMF Exposition zwischen 2021 und 2023 ist hauptsächlich auf TDD im Zusammenhang mit der 5G Nutzung zurückzuführen. TDD-Exposition ist im Jahr 2023 die Hauptquelle der Exposition in öffentlichen Verkehrsmitteln, wenn man die mittleren Peak-Werte betrachtet (2021: 0.64 V/m, 2023: 2.17 V/m), und ist die zweitwichtigste Expositionsquelle für die mittleren RMS-Werte (2021: 0.05 V/m, 2023: 0.21 V/m). Die mittleren TDD-RMS-Werte stiegen in Mikroumgebungen und an öffentlichen Bereichen in geringerem Masse an. Dagegen bleiben die TDD-Medianwerte bei den RMS- (< 0.01 V/m) und Peak-Werten (< 0.07 V/m) für alle Messungen in den Jahren 2021 und 2023 niedrig. Die Downlink-Exposition bleibt der Hauptexpositionsbeitrag in Mikroumgebungen und in öffentlichen Bereichen. Die RMS-Medianwerte des Downlinks sind in Mikroumgebungen (0.09 V/m), in öffentlichen Bereichen (0.10 V/m) und im Verkehrsmittel (0.08 – 0.09 V/m) ähnlich. Die Peak-Medianwerte des Downlinks haben in Mikroumgebungen (2021: 0.45 V/m, 2023: 0.49 V/m) und in öffentlichen Bereichen (2021: 0.49 V/m, 2023: 0.52 V/m) über die zwei Jahre etwas zugenommen, während sie in Verkehrsmitteln etwas abgenommen haben (2021: 0.48 V/m, 2023: 0.39 V/m). Daraus lässt sich schliessen, dass im Verkehr ein Teil des Downlinks mit TDD ersetzt wurde, da dieser ja in der gleichen Zeit von 1.26 V/m auf 1.78 V/m zugenommen hat.

Der Anteil der Uplink-Exposition ist bei den Mikroumgebungen klein. Die Hauptquelle von NIS in öffentlichen Verkehrsmitteln sind andere Fahrgäste, die ihre Telefone benutzen, was den hohen Anteil von Uplink und TDD erklärt. Wobei in Bezug auf die TDD Messungen zu beachten ist, dass nicht zwischen Immissionen von Mobiltelefonen und Basisstation unterschieden werden kann, da beides auf der gleichen Frequenz gesendet wird. Es ist aber anzunehmen, dass die Anteile ähnlich sind wie das Verhältnis von Up- und Downlink. Das würde bedeuten, dass in Zügen der Hauptanteil der TDD-Immissionen von Mobiltelefonen stammt, während in öffentlichen Bereichen und draussen (Mikroumgebungen), der Hauptanteil von Mobilfunkbasisstationen stammt. Dabei ist zu beachten, während der Messung das Mobiltelefon des Messtechnikers im Stand-by-Modus war. Reisende mit einem Mobiltelefon am Körper sind daher stärkerer Exposition durch Mobiltelefone ausgesetzt als mit dem angewendeten Messprotokoll ausgewiesen.

In Bezug auf RMS-Mittelwerte stammte im Jahr 2023 der Hauptbeitrag in öffentlichen Verkehrsmitteln vom Uplink (2021: 0.19 V/m, 2023: 0.26 V/m) gefolgt von TDD (2021: 0.05 V/m, 2023: 0.21 V/m). Bei den durchschnittlichen Peak-Werten kamen im Jahr 2023 der Hauptbeitrag von TDD (2021: 0.64 V/m, 2023: 2.17 V/m) gefolgt von Uplink. Die mittlere RMS-WLAN-Exposition ist im Jahr 2021 (<0.07 V/m) und 2023 (<0.13 V/m) in allen Messumgebungen ähnlich tief. Die medianen WLAN Peak-Werte in öffentlichen Verkehrsmitteln stiegen von 0.29 V/m im Jahr 2021 auf 0.41 V/m im Jahr 2023, was kompatibel mit einer Zunahme von Hotspot-Nutzung in den Zügen wäre. Die Belastungen durch Rundfunk und DECT haben sich zwischen 2021 und 2023 nicht wesentlich verändert. Rundfunk bleibt nach

Downlink die zweitwichtigste Expositionsquelle in den Mikroumgebungen mit einem Median-RMS-Wert von 0.09 V/m.

4.2 Spotmessungen

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 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 März 2024 vorliegenden Daten ist dies noch nicht überall der Fall. Gegenüber dem Datenbestand des Berichts 2022 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 vier Messungen auf (N=4). 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 0.15 V/m (keine HF-Primärquelle) und 0.40 V/m (in der Nähe von Rundfunksendern). Für mobile Messungen liegen die entsprechenden Medianwerte zwischen 0.09 und 0.27 V/m und für Langzeitmessungen zwischen 0.08 und 0.35 V/m. Die höchsten gemessenen HF-EMF (RMS) Werte in einer Wohnung sind bei den Kurzzeitmessungen 1.05 V/m (keine HF-EMF Primärquelle) und 1.23 V/m (Nähe Mobilfunk) bzw. bei den mobilen Messungen zwischen 1.13 V/m (keine HF-EMF Primärquelle) und 2.21 V/m (Rundfunk) und bei den Langzeitmessungen zwischen 1.10 V/m (Rundfunk) und 1.79 V/m (Mobilfunk). In der oben erwähnten SCAMP-Studie aus London lag der Median aller persönlichen Messungen zuhause bei 0.12 V/m und der höchste Mittelwert von einem Studienteilnehmenden bei rund 2.0 V/m [12]. In einer europäischen persönlichen Messstudie war der Median aller Messungen zuhause in Dänemark 0.12 V/m, in Holland 0.10 V/m, in Slowenien 0.10 V/m, in der Schweiz 0.08 V/m und in verschiedenen Provinzen in Spanien zwischen 0.10 V/m und 0.22 V/m [19]. Eine systematische Literaturübersicht aller Messstudien aus Europa bis 2015 fand für Kurzzeitmessungen zuhause eine mittlere Exposition von 0.24 V/m und für persönliche Messungen eine mittlere Exposition von 0.16 V/m [10]. Eine Nachfolgestudie mit Publikationen von 2015 bis 2018 lag bei elf Messstudien die mittlere Exposition in Privaträumen zwischen 0.04 V/m und 0.24 V/m [9]. Damit liegen die Expositionswerte in den internationalen Studien in einem ähnlichen Bereich wie beim Schweizer NIS-Expositionsmonitoring.

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 (0.15 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 33 hervor, dass der Interquartilsabstand für Messumgebungen in der Nähe von Mobilfunkanlagen mit 0.22 V/m deutlich grösser ist, als 0.11 V/m in der Abwesenheit von HF-Primärquellen. Auch das 95. Perzentil ist mit 0.62 V/m höher als für Standorte, welche in Bezug auf den Mobilfunk zufällig ausgewählt wurden (0.30 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 0.14 V/m und bei der Kategorie «keine HF-Primärquelle» 0.09 V/m. Die Interquartilsabstände unterscheiden sich mit 0.18 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 0.16 V/m («Mobilfunk») resp. 0.08 V/m («keine HF-Primärquelle») und bei den Interquartilsabständen erkennbar (0.22 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 (0.27-0.40 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 Art von NIS. Damit dominiert bei Liegenschaften in der Nähe von Rundfunksendern die entsprechende Dienstkategorie die Zusammensetzung der Gesamtfeldstärke stark (86-97 %). Lediglich bei Kurzzeitmessungen im Wohnzimmer trägt WLAN mit 13 % 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. 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 aufgrund der Körperabschirmung um ca. 10 % unterschätzt wird (siehe unten). Uplink und Time-Division-Duplex tragen über alle Teilmessungen hinweg bei sämtlichen Messumgebungstypen weniger als 2 % zur Gesamtfeldstärke bei. Das liegt vermutlich daran, dass von den Messtechnikern während der Durchführung der Messung keine Mobiltelefone benutzt wurden. 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 0.04-0.27 μT , bei der mobilen Messung von 0.04-0.33 μT und bei der Langzeitmessung von 0.04-0.18 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 [15]. 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 vorsorglichen Anlagegrenzwert von 1 μT , den die NISV für (neue) Übertragungsleitungen an Orten wie Wohnungen, Schulen oder Spitäler festlegt. Beim Anlagegrenzwert (AGW) handelt es sich um einen vorsorglichen Grenzwert. Er 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 Anlagegrenzwert ist rund 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, die aus allen Quellen stammt, 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 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, wird dies toleriert [16].

Bei Bahnlinien verlangt die NISV die Einhaltung des AGWs von $1 \mu\text{T}$, bezüglich des «über 24 Stunden gemittelten Effektivwerts der magnetischen Flussdichte». Die Messung bei einer Liegenschaft in der Nähe von zweispurigen Eisenbahnlinein beinhaltet für Kurzzeit- und Langzeitmessungen Datenpunkte oberhalb von $1 \mu\text{T}$. Aus der Boxplot-Verteilung wird ersichtlich, dass nur wenige Punkte über $1 \mu\text{T}$ liegen und der über die Dauer der Langzeitmessung gemittelte Effektivwert (RMS, 16.7 Hz) des Eisenbahnstroms 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 in der Nähe von Bahnanlagen, was ebenfalls zu einem Maximum über $1 \mu\text{T}$ führt. Der über die Langzeitmessung gemittelte RMS-Wert des Eisenbahnstroms beträgt $0.19 \mu\text{T}$.

Bei einer Liegenschaft nahe eines zweispurigen Eisenbahntunnel 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 möglichst genau zu kennen. An fünf Standorten des Projektkonsortiums SwissNIS wurden während des gesamten Jahres 2023 Dauermessungen durchgeführt. Die Messungen haben zum Ziel, Aussagen über zeitliche Veränderungen der elektrischen Feldstärkeimmissionen treffen zu können.

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 43 bis Abbildung 47 im Anhang V. Die stationäre Messstation in *Zürich* befindet sich auf einem Dach in einem urbanen Stadtzentrum. Die gemessenen Medianwerte von 1.13 V/m (RMS) und 5.96 V/m (Peak) sind gegenüber den Routenmessungen mit 0.24 V/m (RMS) und 1.22 V/m (Peak) in urbanen Stadtzentren deutlich erhöht. Die stationäre Messstation in *Allschwil* befindet sich in einem Industriegebiet und die Medianwerte betragen 0.52 V/m (RMS) und 2.76 V/m (Peak) im Vergleich zu 0.30 V/m (RMS) und 1.67 V/m (Peak) in Industriegebieten der Routenmessungen. In einem urbanen zentralen Wohngebiet in *Aarau* wurden an der Dauermessstation 0.62 V/m (RMS) und 5 V/m (Peak) gemessen und in *Neuenburg* wurde die mittlere Gesamtfeldstärkewerte 0.28 V/m (RMS) und 1.27 V/m (Peak) registriert. Die Werte aus den Routenmessungen sind für die entsprechende Messumgebung mit 0.20 V/m (RMS) und 1.02 V/m (Peak) ebenfalls kleiner. Die Dauermessstation in *Deitingen* (urbanes dezentrales Wohngebiet) weist Medianwerte von 0.65 V/m (RMS) und 3.86 V/m (Peak) auf, während die Routenmessung

für diesen Mikroumgebungstyp 0.16 V/m (RMS) und 1.02 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. Weiter ist es möglich, dass an erhöhten Positionen Beiträge von mehreren in der Nähe betriebenen Mobilfunkanlagen registriert werden.

Anders als bei den Routenmessungen werden die stationären Dauermessungen an nur einem Standort (N=1) durchgeführt. Dies führt dazu, dass die Zusammensetzung der Feldstärke stark ortsabhängig ist. Ein Vergleich von Abbildung 33 mit Abbildung 9 und Abbildung 10 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 und 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 grossen Rundfunkbeiträgen von 38 % in Allschwil und 32 % 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 8 %. Bei der prozentualen Zusammensetzung der Peak-Gesamtfeldstärke fällt der Hohe TDD-Anteil von 60 % 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 35 und Abbildung 36. 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 fallen starke abrupte Veränderungen des Downlinks mit erhöhten Werten im Main/Juni und ab Oktober auf. Das lässt vermuten, dass es in der Umgebung Veränderungen in der Konfiguration des Mobilfunknetzes gab. Die stationären Dauermessstationen in Aarau und Allschwil weisen keine grossen Pegelschwankungen über die Monate auf. In Allschwil befindet sich die Antenne in einem Industriegebiet und in Aarau in einem urbanen zentralen Wohngebiet in der Nähe der kantonalen Verwaltungsgebäude.

In Abbildung 37 ist die prozentuale Zusammensetzung der Mobilfunkfrequenzbänder an der durch den Mobilfunk verursachten RMS-Gesamtfeldstärke dargestellt. Bei der Station in Neuenburg wird ersichtlich, dass Beiträge aus dem 2100 MHz Band im Verlauf des Jahres 2023 von 15 % auf 59 % stark angestiegen sind. Der Anstieg erfolgte auf Kosten der Frequenzbereiche bei 1800 MHz, 800 MHz und 2600 MHz, deren Beiträge innerhalb des Jahres von 42 % auf 28 %, von 30 % auf 4 %, respektive von 5 % auf 2 % zurückgingen. Auch die Beiträge aus dem 900 MHz Band reduzierten sich von 2.6 % auf 0.8 %. Es liegt hier lediglich eine Verschiebung und keine Abschaltung vor, da die vier Bänder mit

Feldstärkereduktionen immer noch aktiv sind. 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 ist ein gegenteiliger Trend beobachtbar. In den Monaten Juni, Juli, August, September und Oktober haben sich die Beiträge der Bänder 700 MHz (max. +3 %), 800 MHz (max. +9 %) und 1800 MHz (max. +4 %) gegenüber dem Jahresbeginn etwas erhöht. Im gleichen Zeitraum haben sich die Beiträge des 2100 MHz (max. -17 %) und des 2600 MHz Bandes (max. -7 %) reduziert. Die Gründe hierfür lassen sich nicht genau eruieren. 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 [21] in Abbildung 43 bis Abbildung 47 im Anhang V zeigen, dass in der Nähe aller Messstandorte 3G, 4G und 5G Mobilfunkdienste betrieben werden.

Abbildung 38 zeigt die Peak-Zusammensetzung der Mobilfunkfrequenzbänder. Aus [20] 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 aufweist als die übrigen Mobilfunktechnologien. Besonders beim Standort in Aarau stammt ein grosser Prozentsatz von bis zu 68 % Peak-Mobilfunkgesamtfeldstärke vom 3.5 GHz-Band. Auch die Dauermessstation in Allschwil hat einen maximalen Peak-Feldstärkebeitrag von 34 % in diesem Band.

Eine Analyse der tageszeitlichen Schwankungen zeigt, dass die medianen 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 allen 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 medianen Feldstärkewerte nach 18 Uhr wieder an und erreichen um 21 oder 22 Uhr ein Maximum. Die Mobilfunknutzenden scheinen vor dem Schlafengehen nochmals einen erhöhten Bedarf an Mobilfunkdienstleistungen zu haben. Es wäre aber auch denkbar, dass die Mobiltelefone nach einem Moment der Inaktivität Backups auf Server hochladen, was die Maximalwerte zu Beginn der Nachtstunden verursachen könnte.

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, die durch Messungen in der echofreien Kammer ermittelt wurden, werden mit diesem Ansatz dennoch um schätzungsweise 10% unterschätzt. 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 75 Mikroumgebungen und 43 öffentlichen Bereichen wurden 2023 an den gleichen Orten durchgeführt wie 2021. 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 verstärkt haben. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln ist jedoch 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 2023 häufiger in stark frequentierten öffentlichen Verkehrsmitteln durchgeführt wurden als im Jahr 2021, wo die Auslastung aufgrund der Pandemie noch etwas geringer war. Damit liesse 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 (**T**ime **D**ivision **D**uplex) 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. [17] 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. Grob geschätzt kann davon ausgegangen werden, dass zurzeit die entsprechenden Anteile ähnlich sind wie die gemessenen Up- und Downlinkanteile in den jeweiligen Messumgebungen. Das bedeutet, dass in öffentlichen Verkehrsmitteln der Hauptanteil 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.

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 zunehmen 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 [18].

Zusammenfassend liegen die gemessenen Werte deutlich unter den Immissionsgrenzwerten, 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] L. van Wel, R. Vermeulen, M. van Eijnsden, 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.

- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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>.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] L. E. Birks *et al.*, Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe, *Environment International*, vol. 117, 204-214, 2018.

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)
Polycorn	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 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
Aarau	AG	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5
Adliswil	ZH	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
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	1	2	3	5	0	0	0	0	0	1	0	12
Bätterkinden	BE	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Bellinzona	TI	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Belp	BE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Bern	BE	2	1	3	3	0	0	0	0	0	1	1	11
Bettingen	BS	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Bienne	BE	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
Bioggio	TI	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Bolligen	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Bourg-en-Lavaux	VD	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
Bremgarten	AG	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Brienz	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Burgdorf	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
Buttisholz	LU	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Chamoson	VS	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Châtillon	JU	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Chavannes-près-Renens	VD	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
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
Dallenwil	NW	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
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

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
 Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS
 23.05.2024

Gemeinde	Kanton	Industriegebiet	Stadtzentrum	urbanes zentrales Wohngebiet	urbanes dezentrales Wohngebiet	suburbanes Stadtzentrum	suburbanes Wohngebiet	Dorfzentrum	ländliches Wohngebiet	landwirtschaftliches Gebiet*	Sport-/Freizeitgebiet	Naturgebiet	Total
Disentis	GR	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Dübendorf	ZH	1	0	0	0	1	2	0	0	0	1	0	5
Dulliken	SO	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3
Ecublens	VD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Entlebuch	LU	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
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
Frick	AG	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
Genève	GE	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	7
Gerlafingen	SO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Giubiasco	TI	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Glarus	GL	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	5
Glarus Nord	GL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Gonten	AI	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Gränichen	AG	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
Grellingen	BL	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Grolley	FR	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Gstaad (Saanen)	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Günsberg	SO	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Hergiswil	NW	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Herisau	AR	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Iséables	JU	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Jonen	AG	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
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
Laufenburg	AG	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3
Lausanne	VD	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	1	8
Le Grand-Saconnex	GE	0	0	0	0	0	1	0	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
Liestal	BL	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	4
Lugano	TI	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Lungern	OW	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Luzern	LU	1	2	1	3	0	0	0	0	0	1	0	8
Marly	FR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Münchenstein	BL	1	0	0	0	1	2	0	0	0	1	1	6
Nesslau	SG	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Neuchâtel	NE	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
Neuhausen am Rheinflal	SH	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	4
Nidau	BE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Niedergösgen	SO	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Nyon	VD	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
Pully	VD	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Reinach	AG	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Rossemaison	JU	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
Rümlang	ZH	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
Rüte	AI	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Saint-Blaise	NE	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
San Antonino	TI	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
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
Seewen	SO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Selzach	SO	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Sion	VS	0	1	1	0	0	0	0	0	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
Stans	NW	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Subingen	SO	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Unterbäch	VS	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Unterlunkhofen	AG	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

Gemeinde	Kanton	Industriegebiet	Stadtzentrum	urbanes zentrales Wohngebiet	urbanes dezentrales Wohngebiet	suburbanes Stadtzentrum	suburbanes Wohngebiet	Dorfzentrum	ländliches Wohngebiet	landwirtschaftliches Gebiet*	Sport-/Freizeitgebiet	Naturgebiet	Total
Wattwil	SG	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3
Weesen	SG	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3
Winterthur	ZH	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	6
Wohlen bei Bern	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
Zernez	GR	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Zollikon	ZH	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Zufikon	AG	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Zürich	ZH	3	2	3	4	0	0	0	0	0	2	0	14
Zweisimmen	BE	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3
Total		29	20	23	34	36	52	29	39	16	13	9	300

Messumgebungen in öffentlichen Bereichen

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

Gemeinde	Kanton	Bahnhof	Tramhaltestelle	Bushaltestelle	ETH/JNI/FH	Supermarkt	Restaurant	Bibliothek	Flughafen	Museum	Total
Aarau	AG	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Allschwil	BL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Appenzell	AI	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Arisdorf	BL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Basel	BS	4	3	0	0	0	1	0	0	0	8
Bellinzona	TI	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Belp	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Bern	BE	6	2	0	0	0	0	0	0	0	8
Bienne	BE	0	0	1	0	0	2	1	0	0	4
Bioggio	TI	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bourg-en-Lavaux	VD	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bowil	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Bremgarten	AG	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Brienz	BE	0	0	1	0	1	1	0	0	0	3
Burgdorf	BE	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Chavannes-des-Bois	VD	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Chur	GR	0	0	1	3	0	0	0	0	0	4
Dallenwil	NW	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Delémont	JU	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Disentis	GR	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Dübendorf	ZH	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Duggingen	SO	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ecublens	VD	0	0	0	3	0	0	1	0	0	4
Erstfeld	LU	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Ettiswil	LU	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Frauenfeld	TG	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Freienbach	SZ	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Fribourg	FR	0	0	3	0	0	1	0	0	0	4
Frick	AG	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Genève	GE	4	1	0	3	0	0	1	1	0	10
Glarus	GL	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Grellingen	BL	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
 Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS
 23.05.2024

Gemeinde	Kanton	Bahnhof	Tramhaltestelle	Bushaltestelle	ETH/UNI/FH	Supermarkt	Restaurant	Bibliothek	Flughafen	Museum	Total
Grolley	FR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Gstaad	BE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Günsberg	SO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Hergiswil	NW	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Landquart	GR	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Langnau	BE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Laufenburg	AG	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Lausanne	VD	2	0	3	0	0	2	0	0	1	8
Le Grand-Saconnex	GE	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Liestal	BL	2	0	1	0	1	0	0	0	0	4
Lugano	TI	1	0	1	0	1	1	0	0	0	4
Luzern	LU	1	0	2	0	0	1	0	0	0	4
Montreux	VD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Münchenstein	BL	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Nesslau	SG	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Neuchâtel	NE	0	1	2	1	0	0	1	0	0	5
Neuhausen am Rheinfall	SH	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Nyon	VD	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Olten	SO	1	0	0	3	0	0	0	0	0	4
Reinach	AG	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Riddes	VS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Riehen	BS	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Rüte	AI	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Schaffhausen	SH	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Schwyz	SZ	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3
Sion	VS	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Solothurn	SO	3	0	0	0	1	1	0	0	0	5
Spiez	BE	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
St. Gallen	SG	1	0	2	0	0	2	0	0	0	5
Stans	NW	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Unterlunkhofen	AG	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Visp	VS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Weesen	SG	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
Winterthur	ZH	1	0	2	0	1	0	0	0	0	4
Wohlen bei Bern	BE	0	0	2	0	1	1	0	0	0	4
Yverdon	VD	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2

Gemeinde	Kanton	Bahnhof	Tramhaltestelle	Bushaltestelle	ETH/UNI/FH	Supermarkt	Restaurant	Bibliothek	Flughafen	Museum	Total
Zollikon	ZH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Zürich	ZH	3	6	0	3	1	2	0	1	0	16
Zweisimmen	BE	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Total		56	13	37	16	19	40	4	2	1	188

III Statistische Kenngrößen der Routenmessungen

3.1.1.1 Allgemeiner Überblick - 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	29	4810	0.04	0.10	0.19	0.30	0.46	0.83	3.22
	Stadtzentrum	20	3445	0.02	0.06	0.14	0.24	0.38	0.81	6.02
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	3717	0.02	0.06	0.12	0.20	0.34	0.68	3.66
	Sport-/Freizeitgebiet	13	2156	0.04	0.07	0.13	0.19	0.30	0.55	1.61
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	5754	0.02	0.05	0.10	0.16	0.27	0.54	2.08
	suburbanes Stadtzentrum	36	5792	0.02	0.05	0.09	0.15	0.24	0.49	2.23
	suburbanes Wohngebiet	52	8594	0.02	0.04	0.07	0.12	0.23	0.52	1.56
	landwirtschaftliches Gebiet*	16	2808	0.01	0.03	0.06	0.11	0.27	1.25	2.46
	ländliches Wohngebiet	39	6727	0.01	0.03	0.05	0.10	0.19	0.44	2.21
	Dorfzentrum	29	4706	0.02	0.03	0.05	0.09	0.16	0.35	1.01
Naturgebiet	9	1569	0.02	0.03	0.04	0.07	0.12	0.25	0.52	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Flughafen	2	331	0.12	0.19	0.29	0.48	0.72	1.22	2.75
	Tramhaltestelle	13	1072	0.07	0.15	0.24	0.39	0.55	0.88	3.89
	Bushaltestelle	37	3220	0.04	0.08	0.20	0.32	0.47	0.96	10.39
	Bahnhof	56	4949	0.03	0.07	0.17	0.29	0.48	0.99	3.54
	Museum	1	529	0.03	0.05	0.13	0.21	0.34	0.78	1.51
	ETH/UNI/FH	16	2114	0.02	0.03	0.07	0.13	0.28	0.71	1.81
	Restaurant	40	9437	0.02	0.03	0.06	0.13	0.26	0.71	6.11
	Bibliothek	4	540	0.02	0.03	0.06	0.12	0.19	0.43	1.17
	Schule	28	3847	0.01	0.02	0.05	0.09	0.16	0.47	1.50
Supermarkt	19	2186	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.34	1.51	
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Metro	5	344	0.05	0.11	0.18	0.24	0.34	0.63	1.09
	Zug	207	53269	0.01	0.06	0.15	0.24	0.39	0.68	4.04
	Tram	18	1865	0.05	0.09	0.15	0.22	0.32	0.60	2.77
	Bus	90	9167	0.02	0.06	0.13	0.20	0.31	0.60	4.84
	Seilbahn	8	860	0.02	0.03	0.06	0.09	0.16	0.27	0.62

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	29	4810	0.45	87.1	0.1	3.2	9.3	0.1	0.1
	Stadtzentrum	20	3445	0.44	83.8	0.8	2.8	4.5	0.7	7.4
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	3717	0.37	90.6	0.2	2.3	6.1	0.6	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	13	2156	0.30	76.0	0.1	0.8	23.0	0.1	0.0
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	5754	0.27	67.4	0.1	1.9	29.6	0.8	0.1
	suburbanes Stadtzentrum	36	5792	0.25	82.4	0.2	2.2	14.3	0.9	0.2
	suburbanes Wohngebiet	52	8594	0.25	62.4	0.1	1.3	35.6	0.4	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet*	16	2808	0.48	8.3	0.0	0.1	91.5	0.0	0.0
	ländliches Wohngebiet	39	6727	0.21	67.4	0.1	0.9	31.2	0.3	0.1
	Dorfzentrum	29	4706	0.17	53.3	0.2	1.1	44.5	0.6	0.2
Naturgebiet	9	1569	0.12	44.6	0.4	1.0	53.1	0.6	0.3	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Flughafen	2	331	0.66	96.4	0.3	0.6	0.4	2.3	0.1
	Tramhaltestelle	13	1072	0.55	89.5	0.3	5.8	3.5	0.8	0.2
	Bushaltestelle	37	3220	0.62	91.9	0.4	1.0	6.0	0.4	0.3
	Bahnhof	56	4949	0.50	77.8	1.0	4.8	14.9	1.0	0.4
	Museum	1	529	0.38	97.5	1.0	0.0	0.1	1.3	0.0
	ETH/UNI/FH	16	2114	0.31	82.2	3.3	2.6	6.8	4.9	0.2
	Restaurant	40	9437	0.32	89.9	2.5	0.4	2.1	4.0	1.1
	Bibliothek	4	540	0.21	74.2	1.8	1.0	5.8	15.5	1.6
	Schule	19	3847	0.22	76.3	1.8	3.0	14.6	4.0	0.4
Supermarkt	28	2186	0.17	69.6	5.1	0.3	3.2	12.5	9.4	
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Metro	5	344	0.33	19.5	58.8	0.0	0.5	21.1	0.0
	Zug	207	53269	0.37	38.3	40.3	6.4	1.3	13.6	0.1
	Tram	18	1865	0.33	75.1	7.8	4.2	5.7	7.0	0.2
	Bus	90	9167	0.32	57.7	9.9	5.2	20.5	6.5	0.2
	Seilbahn	8	860	0.15	63.5	8.6	0.9	23.5	3.4	0.1

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	29	4808	0.13	0.43	0.96	1.67	2.78	5.34	18.13
	Stadtzentrum	20	3443	0.07	0.23	0.63	1.22	2.07	4.61	21.72
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	3717	0.08	0.25	0.57	1.02	1.81	3.98	26.25
	Sport-/Freizeitgebiet	13	2157	0.11	0.21	0.53	0.88	1.50	3.53	9.47
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	5758	0.07	0.14	0.40	0.74	1.37	2.94	10.38
	suburbanes Stadtzentrum	36	5788	0.06	0.18	0.39	0.72	1.31	2.94	10.87
	landwirtschaftliches Gebiet*	16	2809	0.05	0.11	0.21	0.50	1.19	5.34	12.27
	suburbanes Wohngebiet	52	8599	0.06	0.12	0.24	0.50	1.14	2.90	9.62
	ländliches Wohngebiet	39	6724	0.05	0.10	0.21	0.44	0.93	2.31	8.00
	Dorfzentrum	29	4706	0.06	0.10	0.19	0.36	0.71	1.82	10.19
Naturgebiet	9	1568	0.06	0.09	0.13	0.23	0.50	1.19	2.80	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Flughafen	2	332	0.52	0.78	1.58	2.19	3.19	4.92	8.32
	Tramhaltestelle	13	1072	0.33	0.76	1.28	2.15	3.25	6.15	19.32
	Bushaltestelle	37	3220	0.10	0.28	0.97	1.65	2.81	5.34	63.66
	Bahnhof	56	4946	0.09	0.33	0.77	1.57	2.59	5.17	28.50
	Museum	1	528	0.12	0.29	0.68	1.20	1.96	4.32	7.89
	ETH/UNI/FH	16	2114	0.06	0.16	0.39	0.84	1.65	3.63	14.44
	Bibliothek	40	541	0.07	0.10	0.25	0.72	1.25	2.98	6.55
	Restaurant	4	9433	0.08	0.16	0.34	0.72	1.48	3.40	22.60
	Supermarkt	19	2190	0.06	0.16	0.34	0.56	1.00	2.34	8.80
Schule	28	3848	0.05	0.10	0.21	0.43	0.96	2.92	14.34	
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	207	53286	0.03	0.29	0.89	1.55	2.47	4.43	18.88
	Metro	5	345	0.34	0.69	1.00	1.41	2.00	3.25	6.82
	Tram	18	1813	0.17	0.44	0.85	1.33	2.02	3.61	17.52
	Bus	90	9210	0.09	0.27	0.67	1.12	1.84	3.62	12.72
	Seilbahn	8	859	0.07	0.13	0.27	0.41	0.92	1.64	4.17

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	29	4808	2.68	74.8	0.0	21.4	3.5	0.3	0.0
	Stadtzentrum	20	3443	2.37	86.3	0.3	11.1	1.2	0.9	0.1
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	3717	2.08	81.2	0.1	15.9	2.2	0.6	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	13	2157	1.63	84.5	0.1	6.3	8.8	0.3	0.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	5758	1.45	70.2	0.1	14.2	14.7	0.7	0.2
	suburbanes Stadtzentrum	36	5788	1.40	77.9	0.2	15.4	5.4	0.9	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet*	16	2809	2.10	12.7	0.0	0.9	86.2	0.2	0.0
	suburbanes Wohngebiet	52	8599	1.31	68.0	0.0	13.5	17.9	0.4	0.1
	ländliches Wohngebiet	39	6724	1.09	78.6	0.0	7.0	13.4	0.9	0.1
	Dorfzentrum	29	4706	0.89	70.1	0.2	6.0	22.1	1.5	0.1
Naturgebiet	9	1568	0.55	61.7	1.8	11.6	21.5	3.4	0.0	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Flughafen	2	332	2.78	87.6	0.7	5.8	0.1	5.7	0.1
	Tramhaltestelle	13	1072	3.35	74.8	0.3	23.3	0.6	0.8	0.1
	Bushaltestelle	37	3220	3.51	88.0	0.4	9.1	1.9	0.4	0.2
	Bahnhof	56	4946	2.74	71.3	1.2	22.4	2.8	2.1	0.2
	Museum	1	528	2.06	95.9	0.9	0.0	0.0	3.2	0.0
	ETH/UNI/FH	16	2114	1.65	60.8	5.5	14.9	1.8	17.0	0.1
	Bibliothek	40	541	1.42	41.9	1.5	1.3	0.5	52.5	2.2
	Restaurant	4	9433	1.72	80.4	2.9	1.9	2.5	11.3	1.0
	Supermarkt	19	2190	1.18	36.4	2.8	0.7	0.3	50.8	8.9
Schule	28	3848	1.37	61.1	1.7	23.4	5.1	8.4	0.3	
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Zug	207	53286	2.32	27.3	33.6	18.8	0.4	19.8	0.1
	Metro	5	345	1.85	17.0	57.1	0.0	0.1	25.7	0.0
	Tram	18	1813	1.97	55.7	11.6	22.9	1.8	7.9	0.1
	Bus	90	9210	1.85	48.6	11.0	28.6	4.6	7.2	0.0
	Seilbahn	8	859	0.85	73.4	13.6	4.3	4.5	4.2	0.0

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	Industriegebiet	29	0.18	0.42	0.73
	Stadtzentrum	20	0.22	0.42	0.66
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	0.13	0.34	0.78
	landwirtschaftliches Gebiet*	16	0.05	0.33	1.26
	Sport-/Freizeitgebiet	13	0.07	0.26	0.61
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	0.03	0.25	0.63
	suburbanes Stadtzentrum	36	0.09	0.23	0.40
	suburbanes Wohngebiet	52	0.05	0.21	0.53
	ländliches Wohngebiet	39	0.02	0.18	0.55
	Dorfzentrum	29	0.03	0.15	0.34
	Naturgebiet	9	0.04	0.11	0.21
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Flughafen	2	0.44	0.64	0.84
	Tramhaltestelle	13	0.21	0.51	1.35
	Bushaltestelle	37	0.06	0.46	2.09
	Bahnhof	56	0.05	0.41	1.16
	Museum	1	0.38	0.38	0.38
	ETH/UNI/FH	16	0.06	0.25	0.67
	Restaurant	40	0.03	0.25	0.93
	Bibliothek	4	0.08	0.18	0.32
	Schule	28	0.03	0.16	0.87
	Supermarkt	19	0.06	0.14	0.37
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Zug	207	0.04	0.34	1.34
	Metro	5	0.23	0.32	0.43
	Tram	19	0.16	0.32	0.64
	Bus	89	0.09	0.31	0.64
	Seilbahn	8	0.13	0.15	0.17

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	29	0.96	2.53	4.05
	Stadtzentrum	20	1.15	2.23	4.33
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	0.59	1.88	4.42
	landwirtschaftliches Gebiet*	16	0.17	1.44	5.71
	Sport-/Freizeitgebiet	13	0.24	1.39	3.64
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	0.11	1.32	2.78
	suburbanes Stadtzentrum	36	0.40	1.30	2.55
	suburbanes Wohngebiet	52	0.19	1.11	3.01
	ländliches Wohngebiet	39	0.11	0.90	2.54
	Dorfzentrum	29	0.14	0.75	1.95
	Naturgebiet	9	0.19	0.46	1.21
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Tramhaltestelle	13	1.08	3.12	7.67
	Flughafen	2	2.74	2.78	2.82
	Bushaltestelle	37	0.15	2.45	12.38
	Bahnhof	56	0.21	2.27	7.19
	Museum	1	2.06	2.06	2.06
	ETH/UNI/FH	16	0.30	1.43	3.65
	Restaurant	40	0.16	1.38	6.60
	Bibliothek	4	0.62	1.26	2.24
	Supermarkt	19	0.49	1.07	2.41
	Schule	28	0.16	1.02	5.60
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Zug	207	0.15	2.12	6.58
	Tram	18	0.80	1.89	2.96
	Metro	5	1.48	1.84	2.52
	Bus	90	0.57	1.77	5.91
	Seilbahn	8	0.40	0.78	1.03

3.1.1.2 Allgemeiner Überblick - 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	20	3438	0.02	0.04	0.11	0.19	0.31	0.58	2.75
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	3710	0.02	0.04	0.10	0.18	0.30	0.58	1.43
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	5747	0.01	0.03	0.08	0.14	0.26	0.59	3.27
	suburbanes Stadtzentrum	36	5770	0.02	0.03	0.07	0.13	0.25	0.56	6.39
	Dorfzentrum	29	4705	0.01	0.02	0.05	0.12	0.21	0.47	4.04
	Industriegebiet	52	4797	0.01	0.02	0.05	0.11	0.25	0.77	6.87
	suburbanes Wohngebiet	29	8576	0.01	0.02	0.05	0.11	0.20	0.51	4.86
	ländliches Wohngebiet	39	6586	0.01	0.02	0.05	0.09	0.17	0.36	3.49
	Sport-/Freizeitgebiet	16	2150	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.20	1.10
	landwirtschaftliches Gebiet	9	2804	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.24	1.70
	Naturgebiet	13	1565	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.18	1.69
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Bahnhof	55	4792	0.02	0.04	0.11	0.38	1.12	3.36	24.17
	Tramhaltestelle	13	1067	0.02	0.06	0.12	0.22	0.36	0.74	2.32
	Bushaltestelle	36	3159	0.02	0.03	0.07	0.15	0.30	0.69	7.66
	ETH/UNI/FH	40	2108	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.57	2.43
	Restaurant	16	9368	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.45	1.46
	Supermarkt	19	2114	0.01	0.02	0.03	0.06	0.10	0.27	1.42
	Schule	28	3840	0.01	0.02	0.02	0.04	0.09	0.40	7.11
	Bibliothek	1	541	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.07	9.24
	Museum	4	528	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07	0.15
	Flughafen	2	332	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.09
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	203	51539	0.01	0.06	0.18	0.44	1.22	5.28	27.41
	Tram	18	1813	0.02	0.04	0.09	0.17	0.32	0.89	4.52
	Bus	89	9108	0.01	0.03	0.05	0.08	0.15	0.43	5.94
	Metro	5	343	0.02	0.02	0.04	0.08	0.14	0.36	0.90
	Seilbahn	8	856	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08	0.39

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 (µT)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
Mikroumgebungen	Stadtzentrum	20	3438	0.31	5.1	87.7	7.2
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	3710	0.29	11.7	83.4	4.9
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	5747	0.30	36.8	62.2	1.1
	suburbanes Stadtzentrum	36	5770	0.30	39.5	60.3	0.2
	Dorfzentrum	29	4705	0.25	33.0	66.9	0.1
	suburbanes Wohngebiet	52	8576	0.29	32.0	67.9	0.1
	Industriegebiet	29	4797	0.48	25.7	74.2	0.1
	ländliches Wohngebiet	39	6586	0.20	50.5	49.4	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet	16	2804	0.17	2.7	97.2	0.2
	Sport-/Freizeitgebiet	9	2150	0.11	21.3	74.2	4.5
Naturgebiet	13	1565	0.11	91.1	8.6	0.3	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (µT)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
	Bahnhof	55	4792	1.92	99.4	0.6	0.0
	Tramhaltestelle	13	1067	0.36	16.7	39.8	43.5
	Bushaltestelle	36	3159	0.55	81.7	17.9	0.3
	Restaurant	40	9368	0.20	72.3	27.6	0.1
	ETH/UNI/FH	16	2108	0.27	87	12.9	0.1
	Supermarkt	19	2114	0.14	8.8	91	0.2
	Schule	28	3840	0.50	8.1	91.8	0.0
	Museum	1	528	0.04	11.9	85.2	3.0
	Bibliothek	4	541	0.40	0.8	4.7	94.4
Flughafen	2	332	0.02	33.4	60.3	6.3	
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	RMS (µT)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
	Zug	203	51539	2.34	99.8	0.2	0.0
	Tram	18	1813	0.49	37.4	35.1	27.5
	Bus	89	9108	0.29	79.7	18.4	1.9
	Metro	5	343	0.18	81.6	13.4	5.0
	Seilbahn	8	856	0.05	14.6	83.5	1.9

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	Stadtzentrum	20	0.16	0.24	0.42
	Industriegebiet	29	0.02	0.23	1.48
	urbanes zentrales Wohngebiet	23	0.13	0.22	0.34
	urbanes dezentrales Wohngebiet	34	0.06	0.21	0.53
	suburbanes Stadtzentrum	36	0.08	0.20	0.45
	Dorfzentrum	29	0.07	0.17	0.45
	suburbanes Wohngebiet	52	0.06	0.17	0.43
	ländliches Wohngebiet	39	0.07	0.13	0.50
	landwirtschaftliches Gebiet	16	0.02	0.07	0.20
	Naturgebiet	9	0.02	0.05	0.22
Sport-/Freizeitgebiet	13	0.02	0.05	0.10	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
	Bahnhof	55	0.03	1.05	7.20
	Tramhaltestelle	13	0.09	0.30	0.56
	Bushaltestelle	36	0.03	0.29	2.61
	ETH/UNI/FH	16	0.02	0.14	0.60
	Restaurant	40	0.02	0.13	0.53
	Schule	28	0.02	0.13	0.91
	Supermarkt	19	0.02	0.09	0.23
	Bibliothek	4	0.02	0.05	0.12
	Museum	1	0.04	0.04	0.04
Flughafen	2	0.02	0.02	0.02	
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
	Zug	203	0.03	1.18	8.99
	Tram	18	0.09	0.26	0.55
	Bus	89	0.04	0.15	0.45
	Metro	5	0.05	0.12	0.19
	Seilbahn	8	0.02	0.03	0.06

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	282	0.01	0.02	0.03	0.08	0.11	0.21	0.59
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	2	296	0.02	0.05	0.09	0.11	0.15	0.25	0.68
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	9	1242	0.02	0.03	0.06	0.09	0.24	0.80	1.50
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	7	962	0.02	0.03	0.08	0.12	0.23	0.48	1.36
Korridor	8	1065	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	0.17	0.59
Schule Peak	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	283	0.07	0.12	0.31	0.47	0.76	1.57	4.05
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	2	296	0.09	0.27	0.46	0.66	0.98	1.98	5.49
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	9	1242	0.08	0.11	0.21	0.43	1.33	4.53	14.34
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	7	962	0.07	0.13	0.32	0.66	1.30	3.07	5.02
Korridor	8	1065	0.05	0.08	0.14	0.25	0.44	1.00	9.61

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	282	0.12	49.1	0.4	3.7	32.5	14.2	0.0
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	2	296	0.15	28.6	20.0	3.3	17.0	30.9	0.1
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	9	1242	0.31	84.2	0.1	3.6	10.8	0.6	0.6
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	7	962	0.23	70.9	3.5	1.7	21.0	2.8	0.1
Korridor	8	1065	0.09	40.9	2.4	0.7	19.6	36.2	0.3
Schule Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	2	283	0.80	30.1	0.4	3.5	4.7	61.3	0.0
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	2	296	1.07	16.7	12.0	4.2	2.7	64.5	0.0
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	9	1242	1.92	65.7	0.0	30.1	3.3	0.5	0.4
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	7	962	1.33	66.7	4.3	16.2	10.6	2.1	0.1
Korridor	8	1065	0.59	34.3	1.2	1.5	4.8	57.9	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	283	0.02	0.02	0.05	0.12	0.26	2.37	6.41
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	2	295	0.02	0.03	0.09	0.13	0.61	3.52	7.11
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	9	1238	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.29	2.39
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	7	959	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.50
Korridor	8	1065	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.18	0.52

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	283	1.14	0.5	99.5	0.0
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	2	295	1.30	0.4	99.6	0.0
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	9	1238	0.24	96.3	3.7	0.1
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	7	959	0.08	50.3	49.0	0.7
Korridor	8	1065	0.08	40.7	58.6	0.6

Tabelle 26: Statistische Kenngrößen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS) in 2023 und 2021. "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	2023	8	1366	0.05	0.11	0.23	0.36	0.52	0.91	3.63
		2021	8	1365	0.04	0.10	0.21	0.33	0.49	0.79	1.60
	Sport-/Freizeitgebiet	2023	3	488	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.51	0.89
		2021	3	553	0.06	0.10	0.18	0.27	0.38	0.59	0.82
	urbanes zentrales Wohngebiet	2023	6	1015	0.03	0.07	0.13	0.21	0.31	0.53	1.37
		2021	6	1015	0.03	0.06	0.13	0.20	0.32	0.53	1.85
	Stadtzentrum	2023	5	939	0.03	0.04	0.10	0.21	0.38	0.86	2.26
		2021	5	977	0.02	0.05	0.11	0.21	0.37	0.77	2.45
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2023	8	1368	0.02	0.06	0.09	0.14	0.23	0.51	1.50
		2021	8	1504	0.04	0.06	0.11	0.15	0.24	0.51	1.34
	suburbanes Stadtzentrum	2023	8	1298	0.02	0.05	0.09	0.14	0.25	0.54	1.33
		2021	8	1327	0.02	0.05	0.09	0.13	0.23	0.49	1.42
	ländliches Wohngebiet	2023	9	1565	0.02	0.04	0.07	0.12	0.21	0.40	0.93
		2021	9	1587	0.02	0.04	0.07	0.12	0.22	0.43	1.03
	Dorfzentrum	2023	9	1484	0.02	0.03	0.05	0.10	0.18	0.39	1.38
		2021	9	1467	0.02	0.03	0.05	0.10	0.18	0.42	1.01
suburbanes Wohngebiet	2023	11	1780	0.02	0.03	0.05	0.08	0.16	0.49	1.05	
	2021	11	1822	0.02	0.04	0.05	0.08	0.17	0.45	1.27	
landwirtschaftliches Gebiet	2023	3	600	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.18	2.08	
	2021	3	632	0.01	0.03	0.05	0.07	0.11	0.29	1.18	
Naturgebiet	2023	5	949	0.02	0.03	0.04	0.06	0.11	0.23	0.44	
	2021	5	939	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.17	0.44	
öffentliche Bereiche	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	2023	4	390	0.11	0.16	0.28	0.51	0.70	1.44	4.38
		2021	4	230	0.10	0.14	0.34	0.53	0.62	1.68	3.89
	Flughafen	2023	1	159	0.17	0.20	0.36	0.50	0.79	1.06	1.94
		2021	1	174	0.12	0.16	0.26	0.33	0.51	0.73	1.29
	Bushaltestelle	2023	5	416	0.06	0.12	0.21	0.31	0.41	0.57	0.86
		2021	5	390	0.09	0.13	0.24	0.36	0.48	0.63	0.81
	Bahnhof	2023	13	985	0.02	0.09	0.16	0.27	0.42	0.83	3.51
		2021	13	1211	0.03	0.06	0.17	0.29	0.42	0.68	1.46
	Museum	2023	1	386	0.04	0.07	0.11	0.20	0.33	0.64	1.78
		2021	1	529	0.03	0.05	0.13	0.21	0.34	0.78	1.51
	Bibliothek	2023	1	151	0.07	0.11	0.16	0.20	0.30	0.60	1.18
		2021	1	151	0.10	0.14	0.18	0.21	0.35	0.60	0.79
	Supermarkt	2023	5	446	0.03	0.04	0.08	0.13	0.21	0.52	1.51
		2021	5	668	0.02	0.03	0.06	0.10	0.18	0.50	1.51
	ETH/UNI/FH	2023	4	525	0.02	0.04	0.07	0.11	0.14	0.20	1.35
2021		4	597	0.02	0.04	0.08	0.11	0.17	0.24	1.81	

		2023	9	2088	0.01	0.03	0.06	0.08	0.12	0.24	0.93
	Restaurant	2021	9	3444	0.02	0.02	0.04	0.08	0.13	0.25	1.26
	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Verkehrsmittel	Zug	2023	58	14008	0.02	0.07	0.16	0.28	0.44	0.78	4.78
		2021	62	17845	0.01	0.04	0.12	0.21	0.35	0.58	4.04
	Tram	2023	6	522	0.05	0.09	0.18	0.26	0.36	0.60	1.89
		2021	5	482	0.05	0.08	0.14	0.20	0.29	0.53	2.77
	Bus	2023	14	1209	0.02	0.04	0.14	0.23	0.34	0.59	4.88
		2021	10	958	0.03	0.05	0.09	0.15	0.25	0.51	1.25
	Metro	2023	1	109	0.10	0.12	0.16	0.20	0.28	0.55	1.30
		2021	1	105	0.05	0.10	0.15	0.21	0.28	0.50	0.72
	Seilbahn	2023	2	451	0.02	0.03	0.06	0.08	0.19	0.30	1.21
		2021	2	439	0.02	0.03	0.06	0.09	0.17	0.27	0.62

Tabelle 27: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen in 2023 und 2021 (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	2023	8	1366	0.49	80.1	0.1	7.3	12.1	0.2	0.2
		2021	8	1365	0.44	83.4	0.1	2.0	14.2	0.1	0.2
	Sport-/Freizeitgebiet	2023	3	488	0.33	52.8	0.2	5.6	41.2	0.1	0.1
		2021	3	553	0.33	63.6	0.3	0.4	35.6	0.0	0.0
	Stadtzentrum	2023	5	939	0.43	88.5	0.9	4.5	5.1	0.6	0.5
		2021	5	977	0.41	82.0	2.8	5.1	7.4	1.1	1.7
	urbanes zentrales Wohngebiet	2023	6	1015	0.29	79.5	0.3	4.9	14.5	0.6	0.1
		2021	6	1015	0.30	83.4	0.1	1.7	12.8	1.5	0.6
	suburbanes Stadtzentrum	2023	8	1298	0.26	74.8	0.1	4.1	20.6	0.3	0.1
		2021	8	1327	0.25	79.8	0.1	1.7	17.2	1.1	0.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2023	8	1368	0.25	83.8	0.2	3.3	12.2	0.4	0.1
		2021	8	1504	0.26	85.4	0.2	2.1	10.0	2.2	0.2
	ländliches Wohngebiet	2023	9	1565	0.20	55.4	0.1	1.5	42.6	0.3	0.1
		2021	9	1587	0.21	53.7	0.1	0.9	45.1	0.2	0.0
	Dorfzentrum	2023	9	1484	0.20	63.9	0.2	2.4	32.9	0.6	0.0
		2021	9	1467	0.20	59.3	0.2	1.3	38.7	0.4	0.1
	suburbanes Wohngebiet	2023	11	1780	0.20	51.3	0.3	2.0	46.0	0.4	0.1
		2021	11	1822	0.21	46.8	0.3	0.7	51.1	1.1	0.1
landwirtschaftliches Gebiet	2023	3	600	0.18	91.3	0.1	0.1	8.2	0.2	0.0	
	2021	3	632	0.17	90.7	0.1	0.1	8.8	0.1	0.0	
Naturgebiet	2023	5	949	0.11	50.4	0.3	1.3	46.8	0.6	0.6	
	2021	5	939	0.09	40.2	0.5	0.5	58.1	0.7	0.0	

	Messumgebung			RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)	
		N	n								
öffentliche Bereiche	Tramhaltestelle	2023	4	0.75	84.3	0.0	14.3	1.2	0.1	0.1	0.75
		2021	4	0.80	97.2	0.2	1.1	1.0	0.4	0.1	0.80
	Flughafen	2023	1	0.66	50.0	0.1	48.7	0.4	0.6	0.3	0.66
		2021	1	0.44	90.8	0.4	2.1	0.4	6.1	0.2	0.44
	Bushaltestelle	2023	5	0.36	78.6	1.4	6.7	10.7	1.9	0.7	0.36
		2021	5	0.40	80.6	1.3	2.5	12.0	3.0	0.5	0.40
	Bahnhof	2023	13	0.45	89.1	0.8	2.5	5.6	1.7	0.4	0.45
		2021	13	0.38	83.1	2.7	2.4	9.7	1.7	0.4	0.38
	Bibliothek	2023	1	0.31	89.3	0.4	3.2	1.7	5.4	0.0	0.31
		2021	1	0.32	83.9	0.5	1.1	3.5	11.0	0.0	0.32
	Museum	2023	1	0.35	97.3	0.4	0.0	0.3	1.9	0.0	0.35
		2021	1	0.38	97.5	1.0	0.0	0.1	1.3	0.0	0.38
	Supermarkt	2023	5	0.26	77.0	3.0	0.5	1.8	9.4	8.3	0.26
		2021	5	0.23	69.6	5.8	0.1	3.9	10.7	9.9	0.23
	ETH/UNI/FH	2023	4	0.14	58.2	4.5	3.5	6.4	27.1	0.3	0.14
		2021	4	0.17	36.5	4.7	1.7	38.6	18.4	0.1	0.17
Restaurant	2023	9	0.14	53.3	5.7	1.0	7.6	29.9	2.6	0.14	
	2021	9	0.14	58.5	3.3	0.2	12.7	22.1	3.3	0.14	
Verkehrsmittel	Messumgebung			RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)	
	Zug	2023	58	14008	0.42	19.4	41.9	27.3	1.3	9.9	0.2
		2021	62	17845	0.32	42.3	38.8	3.0	1.8	14.0	0.1
	Tram	2023	6	522	0.34	65.0	7.1	13.7	6.9	7.2	0.2
		2021	5	482	0.33	77.2	3.1	2.5	11.2	5.8	0.1
	Bus	2023	14	1209	0.44	25.7	7.9	6.7	56.2	3.4	0.0
		2021	10	958	0.25	70.4	6.8	0.7	16.2	5.7	0.2
	Metro	2023	1	109	0.29	25.2	57.8	4.7	0.4	11.9	0.0
		2021	1	105	0.28	39.2	41.9	0.0	0.3	18.6	0.0
	Seilbahn	2023	2	451	0.17	89.7	1.0	0.9	8.1	0.3	0.1
		2021	2	439	0.15	76.7	0.2	0.7	18.6	3.7	0.1

Tabelle 28: Statistische Kenngrößen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak) in 2023 und 2021. "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	2023	8	1368	0.13	0.53	1.26	2.14	3.23	6.12	17.87
		2021	8	1365	0.13	0.40	1.13	1.89	2.84	4.80	10.86
	Sport-/Freizeitgebiet	2023	3	489	0.22	0.42	0.87	1.31	1.87	3.80	6.88
		2021	3	554	0.23	0.44	0.79	1.19	1.61	3.42	5.65
	urbanes zentrales Wohngebiet	2023	6	1013	0.09	0.26	0.63	1.09	1.78	3.40	8.75
		2021	6	1017	0.08	0.23	0.54	0.90	1.54	2.93	8.06
	Stadtzentrum	2023	5	938	0.09	0.18	0.47	1.04	2.24	5.12	14.32
		2021	5	979	0.07	0.16	0.46	1.00	1.92	4.15	11.49
	suburbanes Stadtzentrum	2023	8	1297	0.09	0.20	0.45	0.82	1.55	3.68	8.88
		2021	8	1325	0.06	0.17	0.37	0.69	1.39	3.23	7.87
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2023	8	1368	0.09	0.19	0.37	0.64	1.24	2.94	9.10
		2021	8	1504	0.09	0.18	0.35	0.63	1.24	2.98	9.40
	ländliches Wohngebiet	2023	9	1564	0.09	0.14	0.28	0.55	1.03	2.11	5.44
		2021	9	1586	0.08	0.12	0.27	0.53	0.98	2.03	5.20
	Dorfzentrum	2023	9	1485	0.08	0.13	0.23	0.46	0.90	2.36	6.09
		2021	9	1467	0.06	0.11	0.22	0.45	0.82	2.31	10.19
suburbanes Wohngebiet	2023	11	1779	0.08	0.13	0.19	0.34	0.76	2.69	6.62	
	2021	11	1822	0.07	0.12	0.19	0.33	0.78	2.54	9.62	
landwirtschaftliches Gebiet	2023	3	600	0.09	0.12	0.19	0.29	0.51	1.03	6.95	
	2021	3	633	0.05	0.10	0.16	0.28	0.55	1.36	5.37	
Naturgebiet	2023	5	949	0.07	0.10	0.14	0.22	0.42	0.89	2.98	
	2021	5	938	0.06	0.09	0.12	0.19	0.35	0.73	1.63	
öffentliche Bereiche	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Flughafen	2023	1	159	1.05	1.58	2.61	4.27	6.58	9.62	31.61
		2021	1	174	0.52	0.71	1.57	2.16	3.31	4.70	6.87
	Tramhaltestelle	2023	4	390	0.73	1.03	2.03	3.21	4.80	11.70	27.38
		2021	4	230	0.57	0.75	2.25	3.20	3.79	10.28	19.32
	Bushaltestelle	2023	5	418	0.30	0.55	1.10	1.76	2.48	3.91	7.30
		2021	5	391	0.33	0.51	1.03	1.91	2.72	3.98	5.68
	Bahnhof	2023	13	984	0.10	0.47	0.99	1.50	2.17	3.69	12.38
		2021	13	1211	0.12	0.24	0.84	1.65	2.22	3.50	7.64
	Bibliothek	2023	1	150	0.35	0.62	0.95	1.44	2.30	4.19	6.74
		2021	1	151	0.24	0.64	0.98	1.27	2.20	4.67	6.55
	Museum	2023	1	386	0.09	0.36	0.61	1.04	1.73	3.09	8.00
		2021	1	528	0.12	0.29	0.68	1.20	1.96	4.32	7.89
	Supermarkt	2023	5	446	0.14	0.29	0.53	0.86	1.43	3.14	9.24
		2021	5	671	0.17	0.27	0.44	0.68	1.13	3.02	8.80
	ETH/UNI/FH	2023	4	523	0.06	0.17	0.38	0.70	0.88	1.62	5.57
2021		4	597	0.06	0.16	0.34	0.61	0.93	1.48	4.63	

		2023	9	2087	0.06	0.13	0.34	0.49	0.93	1.42	3.52
		2021	9	3440	0.08	0.15	0.25	0.49	0.66	1.07	3.42
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	2023	58	14014	0.08	0.40	1.06	1.87	2.85	5.78	27.15
		2021	62	17846	0.04	0.21	0.72	1.33	2.20	3.74	17.49
	Tram	2023	6	524	0.15	0.42	1.09	1.61	2.43	4.09	15.53
		2021	5	483	0.22	0.33	0.71	1.04	1.60	3.74	17.52
	Bus	2023	14	1161	0.09	0.17	0.81	1.40	2.39	4.16	9.03
		2021	10	1007	0.09	0.22	0.46	0.81	1.36	2.79	5.61
	Metro	2023	1	109	0.47	0.72	1.01	1.29	1.81	3.02	4.51
		2021	1	105	0.34	0.67	0.99	1.37	1.85	2.99	4.21
	Seilbahn	2023	2	451	0.09	0.14	0.25	0.38	1.15	1.90	4.33
		2021	2	438	0.07	0.13	0.29	0.41	1.04	1.74	4.17

Tabelle 29: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen in 2023 und 2021 (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 (%)	WLA N (%)	DEC T (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	2023	8	1368	3.17	66.8	0.0	28.0	5.0	0.2	0.0
		2021	8	1365	2.64	76.4	0.0	16.7	6.5	0.3	0.0
	Sport-/Freizeitgebiet	2023	3	489	1.87	53.4	0.0	31.2	15.2	0.2	0.0
		2021	3	554	1.64	76.5	0.0	5.5	17.8	0.2	0.0
	urbanes zentrales Wohngebiet	2023	6	1013	1.73	77.1	0.4	18.0	3.6	0.8	0.0
		2021	6	1017	1.51	81.8	0.1	12.3	4.6	0.8	0.2
	Stadtzentrum	2023	5	938	2.45	68.9	0.6	27.6	1.5	1.5	0.0
		2021	5	979	2.06	82.3	0.6	14.1	1.9	1.1	0.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2023	8	1297	1.71	61.4	0.1	29.2	9.0	0.3	0.0
		2021	8	1325	1.49	76.0	0.3	15.1	8.1	0.4	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	2023	8	1368	1.49	80.3	0.0	17.1	2.2	0.4	0.0
		2021	8	1504	1.47	84.3	0.1	12.5	2.5	0.3	0.3
	ländliches Wohngebiet	2023	9	1564	1.02	67.8	0.0	5.9	25.4	0.8	0.0
		2021	9	1586	0.98	64.2	0.0	6.0	29.2	0.6	0.0
	Dorfzentrum	2023	9	1485	1.05	72.5	0.2	7.8	18.5	1.0	0.1
		2021	9	1467	1.11	75.7	0.2	5.3	18.2	0.6	0.1

	suburbanes Wohngebiet	2023	1			1779	1.14	58.6	0.1	10.1	30.5	0.6	0.0
		2021	1			1822	1.11	62.3	0.1	2.9	34.1	0.6	0.0
	landwirtschaftliches Gebiet	2023	3			600	0.88	97.3	0.0	0.1	1.7	0.8	0.0
		2021	3			633	0.86	97.5	0.2	0.1	1.7	0.5	0.0
	Naturgebiet	2023	5			949	0.45	71.6	0.2	10.2	15.2	2.8	0.0
		2021	5			938	0.35	64.4	0.4	1.2	29.9	4.2	0.0
öffentliche Bereiche	Messumgebung		N	n			RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Flughafen	2023	4			159	6.01	32.6	0.1	66.5	0.0	0.7	0.0
		2021	4			174	2.74	84.6	0.6	10.6	0.0	4.1	0.1
	Tramhaltestelle	2023	1			390	5.93	67.6	0.0	32.2	0.1	0.1	0.0
		2021	1			230	4.70	91.8	0.1	7.7	0.2	0.1	0.1
	Bushaltestelle	2023	5			418	2.18	74.3	0.8	18.9	4.5	0.9	0.5
		2021	5			391	2.29	69.3	1.4	21.1	6.2	1.7	0.3
	Bahnhof	2023	3			984	2.09	80.4	1.5	10.8	3.9	3.2	0.2
		2021	3			1211	1.99	77.6	3.3	11.9	4.5	2.5	0.2
	Bibliothek	2023	1			150	2.18	49.9	0.3	4.2	0.1	45.5	0.0
		2021	1			151	2.24	53.2	0.5	1.3	0.1	44.9	0.0
	Museum	2023	1			386	1.75	92.1	0.6	0.0	0.1	7.1	0.0
		2021	1			528	2.06	95.9	0.9	0.0	0.0	3.2	0.0
	Supermarkt	2023	5			446	1.63	48.3	2.9	5.2	0.9	33.6	9.1
		2021	5			671	1.38	46.9	3.5	0.1	0.5	39.1	9.8
	ETH/UNI/FH	2023	4			523	0.92	40.8	3.7	12.4	1.8	41.3	0.1
2021		4			597	0.83	38.0	6.5	9.0	3.8	42.7	0.1	
Restaurant	2023	9			2087	0.84	45.7	10.0	3.9	0.9	37.4	2.1	
	2021	9			3440	0.60	50.2	10.1	0.5	2.5	31.6	5.1	
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n			RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Zug	2023	5			1401	3.13	9.5	25.8	53.1	0.4	11.1	0.1
		2021	6			1784	2.01	31.5	35.6	10.2	0.4	22.2	0.1
	Tram	2023	6			524	2.37	47.8	6.9	38.4	1.1	5.8	0.0
		2021	5			483	2.10	61.6	4.1	24.3	2.5	7.5	0.0

Bus	2023	14	1161	2.17	32.1	12.3	45.2	7.4	3.1	0.0
	2021	10	1007	1.33	70.5	9.4	5.7	7.1	7.2	0.0
Metro	2023	1	109	1.70	21.0	51.6	7.2	0.4	19.8	0.0
	2021	1	105	1.66	31.7	37.7	0.0	0.1	30.5	0.0
Seilbahn	2023	2	451	1.00	91.2	3.3	3.5	1.3	0.7	0.0
	2021	2	438	0.93	89.4	0.1	4.5	3.8	2.2	0.0

Tabelle 30: Statistische Kenngrößen (in μT) der gesamten NF-MF-Exposition in 2021 und 2023. "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
urbanes zentrales Wohngebiet	2023	6	1013	0.02	0.04	0.08	0.18	0.35	0.61	2.89
	2021	6	1012	0.02	0.04	0.08	0.17	0.30	0.59	0.93
urbanes dezentrales Wohngebiet	2023	8	1366	0.01	0.03	0.08	0.17	0.31	0.83	4.32
	2021	8	1501	0.01	0.03	0.08	0.15	0.29	0.75	3.27
Stadtzentrum	2023	5	937	0.02	0.04	0.10	0.17	0.28	0.49	2.22
	2021	5	975	0.02	0.03	0.10	0.17	0.26	0.49	2.75
suburbanes Wohngebiet	2023	11	1777	0.02	0.03	0.06	0.13	0.26	0.65	2.54
	2021	11	1819	0.02	0.03	0.07	0.14	0.26	0.80	2.93
Dorfzentrum	2023	9	1484	0.01	0.02	0.07	0.13	0.25	0.67	2.19
	2021	9	1473	0.01	0.02	0.06	0.14	0.25	0.57	4.04
Industriegebiet	2023	8	1366	0.02	0.02	0.06	0.12	0.20	0.55	3.01
	2021	8	1363	0.02	0.03	0.06	0.11	0.22	0.54	2.45
suburbanes Stadtzentrum	2023	8	1294	0.02	0.03	0.06	0.11	0.21	0.46	1.94
	2021	8	1321	0.02	0.03	0.06	0.11	0.21	0.50	2.44
ländliches Wohngebiet	2023	9	1561	0.01	0.02	0.05	0.10	0.19	0.56	1.77
	2021	9	1582	0.01	0.02	0.05	0.10	0.17	0.44	2.93
Sport-/Freizeitgebiet	2023	3	488	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.20	0.99
	2021	3	553	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.25	1.10
landwirtschaftliches Gebiet	2023	3	598	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.31	0.74
	2021	3	632	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	0.64	1.70
Naturgebiet	2023	5	946	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	0.17
	2021	5	936	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05
Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Bahnhof	2023	14	1076	0.02	0.03	0.09	0.32	1.23	3.03	8.76
	2021	14	1266	0.02	0.03	0.09	0.19	0.65	2.38	13.37
Tramhaltestelle	2023	4	390	0.04	0.09	0.15	0.23	0.39	0.77	1.40
	2021	4	228	0.05	0.11	0.18	0.31	0.56	1.02	1.73
Bushaltestelle	2023	4	364	0.02	0.03	0.08	0.16	0.56	2.39	7.35
	2021	4	338	0.02	0.04	0.05	0.16	0.42	2.80	7.66

Verkehrsmittel	Restaurant	2023	9	2083	0.01	0.02	0.04	0.08	0.17	0.35	0.59
		2021	9	3390	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.33	0.60
	Supermarkt	2023	5	445	0.02	0.02	0.03	0.06	0.13	0.38	1.11
		2021	5	598	0.02	0.02	0.04	0.06	0.16	0.42	1.42
	Bibliothek	2023	1	150	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07
		2021	1	151	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08
	Museum	2023	1	385	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.09	0.17
		2021	1	528	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07	0.15
	ETH/UNI/FH	2023	4	523	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.10	0.31
		2021	4	593	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.18	2.43
	Flughafen	2023	1	159	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.08
		2021	1	174	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.09
	Messumgebung		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	2023	58	13984	0.01	0.04	0.14	0.35	0.94	6.08	25.53
		2021	62	16275	0.01	0.05	0.15	0.42	1.28	4.88	27.41
	Tram	2023	6	524	0.02	0.04	0.11	0.17	0.28	0.65	1.25
2021		5	483	0.02	0.05	0.10	0.15	0.25	0.60	1.92	
Bus	2023	14	1209	0.02	0.04	0.05	0.08	0.13	0.53	2.41	
	2021	10	917	0.01	0.02	0.05	0.08	0.13	0.32	2.72	
Metro	2023	1	108	0.02	0.02	0.03	0.05	0.11	0.19	0.34	
	2021	1	104	0.03	0.04	0.07	0.12	0.26	0.44	0.60	
Seilbahn	2023	2	450	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.08	0.55	
	2021	2	437	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.39	

Tabelle 31: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen NF-Quellen in 2021 und 2023 (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	urbanes zentrales Wohngebiet	2023	6	1013	0.33	14.6	83.7	1.7
		2021	6	1012	0.28	13.7	85.1	1.2
	Stadtzentrum	2023	5	937	0.27	7.2	91.7	1.1
		2021	5	975	0.26	5.2	93.7	1.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	2023	8	1366	0.47	77.7	21.5	0.8
		2021	8	1501	0.38	63.8	34.7	1.5
	suburbanes Wohngebiet	2023	5	1819	0.43	35.7	64.2	0.1
		2021	5	1777	0.33	28.7	71.1	0.2
	Dorfzentrum	2023	8	1473	0.31	47.0	52.9	0.1
		2021	8	1484	0.31	46.9	53.0	0.1
	suburbanes Stadtzentrum	2023	9	1366	0.32	43.5	56.0	0.5
		2021	9	1363	0.25	22.2	76.7	1.1

öffentliche Bereiche	Industriegebiet	2023	8	1294	0.25	8.8	90.8	0.5
		2021	8	1321	0.30	6.2	93.4	0.4
	ländliches Wohngebiet	2023	9	1582	0.27	74.7	25.2	0.1
		2021	9	1561	0.27	66.7	33.2	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	2023	11	553	0.13	12.1	87.7	0.2
		2021	11	488	0.14	21.1	78.7	0.2
	landwirtschaftliches Gebiet	2023	3	598	0.14	1.9	97.9	0.2
		2021	3	632	0.30	0.6	99.3	0.0
	Naturgebiet	2023	5	946	0.04	14.3	83.4	2.3
		2021	5	936	0.02	54.6	35.4	10.0
	Messumgebung		N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom	Stromversorgung	Tram-Rippelstrom
	Bahnhof	2023	14	1076	1.42	99.5	0.5	0.0
		2021	14	1266	1.28	99.3	0.7	0.0
	Tramhaltestelle	2023	4	228	0.52	27.3	34.4	38.3
2021		4	390	0.37	19.8	31.2	49.0	
Bushaltestelle	2023	4	338	1.43	98.8	1.1	0.1	
	2021	4	364	0.99	98.4	1.0	0.6	
Restaurant	2023	9	2083	0.16	84.6	15.2	0.2	
	2021	9	3390	0.15	68.6	31.3	0.2	
Supermarkt	2023	5	598	0.22	2.9	97.0	0.1	
	2021	5	445	0.18	7.6	92.3	0.1	
Bibliothek	2023	1	150	0.05	21.9	72.9	5.2	
	2021	1	151	0.05	23.0	68.3	8.7	
Museum	2023	1	593	0.14	2.4	97.4	0.2	
	2021	1	523	0.05	13.2	85.4	1.4	
ETH/UNI/FH	2023	4	385	0.04	10.0	88.0	2.0	
	2021	4	528	0.04	11.9	85.2	3.0	
Flughafen	2023	1	174	0.03	30.3	63.9	5.8	
	2021	1	159	0.02	36.9	56.0	7.2	
Verkehrsmittel	Messumgebung		N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom	Stromversorgung	Tram-Rippelstrom
	Zug	2023	58	16275	2.26	99.9	0.1	0.0
		2021	62	13984	2.53	99.7	0.1	0.1
	Tram	2023	6	524	0.30	61.1	13.5	25.4
		2021	5	483	0.30	59.3	15.4	25.3
	Bus	2023	14	104	0.22	81.7	13.4	4.8
		2021	10	108	0.10	82.2	14.2	3.5
	Metro	2023	1	1209	0.33	32.1	67.3	0.6
		2021	1	917	0.22	62.3	34.3	3.3
	Seilbahn	2023	2	437	0.04	12.5	85.3	2.2
		2021	2	450	0.05	9.3	88.9	1.8

Tabelle 32: Vergleich der in den Jahren 2021 und 2023 gemessenen HF-Medianwerte und Mittelwerte (RMS und Peak) (in V/m) für Routenmessungen.

		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2021	2023	2021	2023	2021	2023	2021	2023
Mikroumgebungen	HF Quelle	0.14	0.14	0.27	0.28	0.60	0.65	1.50	1.70
	Gesamt HF-EMF	0.09	0.09	0.24	0.25	0.45	0.49	1.32	1.40
	Downlink	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.06	0.07
	TDD	0.01	0.01	0.04	0.06	0.03	0.05	0.53	0.82
	Rundfunk	0.05	0.05	0.12	0.12	0.09	0.09	0.48	0.48
	WLAN	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.08	0.11	0.13
	DECT	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02
		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2021	2023	2021	2023	2021	2023	2021	2023
Öffentliche Bereiche	HF Quelle	0.13	0.14	0.29	0.35	0.67	0.94	1.61	2.36
	Gesamt HF-EMF	0.10	0.10	0.26	0.31	0.49	0.52	1.42	1.85
	Downlink	0.01	0.01	0.04	0.03	0.06	0.06	0.24	0.23
	TDD	0.00	0.01	0.03	0.12	0.03	0.05	0.46	1.29
	Rundfunk	0.03	0.03	0.08	0.07	0.05	0.05	0.24	0.24
	WLAN	0.03	0.03	0.06	0.07	0.20	0.20	0.48	0.56
	DECT	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.03	0.17	0.17
		RMS (V/m)				Peak (V/m)			
		Median		Mittelwert		Median		Mittelwert	
		2021	2023	2021	2023	2021	2023	2021	2023
Verkehrsmittel	HF Quelle	0.21	0.27	0.32	0.41	1.26	1.78	1.97	3.01
	Gesamt HF-EMF	0.09	0.08	0.21	0.19	0.48	0.39	1.14	1.01
	Downlink	0.05	0.10	0.19	0.26	0.39	0.76	1.15	1.50
	TDD	0.01	0.01	0.05	0.21	0.03	0.07	0.64	2.17
	Rundfunk	0.02	0.02	0.05	0.10	0.04	0.05	0.16	0.25
	WLAN	0.05	0.07	0.12	0.13	0.29	0.41	0.91	0.98
	DECT	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.05	0.08

IV Statistische Kenngrößen der Spotmessungen

4.1 Statistische Kenngrößen der HF-Exposition

Tabelle 33: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der RMS HF elektrischen Gesamtfeldstärke für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 24 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)							
	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Kurzzeitmessung	Mobilfunk	29	1744	0.03	0.04	0.09	0.17	0.31	0.62	1.23
Radio/TV		4	240	0.13	0.14	0.19	0.4	0.65	0.75	1.08	0.46
keine HF-Primärquelle		24	1482	0.03	0.04	0.09	0.15	0.2	0.3	1.05	0.11
mobile Messung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	29	2785	0.02	0.04	0.08	0.14	0.26	0.64	1.76	0.18
	Radio/TV	4	400	0.05	0.08	0.16	0.27	0.62	0.97	2.21	0.46
	keine HF-Primärquelle	24	2410	0.01	0.02	0.05	0.09	0.16	0.36	1.13	0.11
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Mobilfunk	29	247293	0.02	0.04	0.08	0.16	0.3	0.68	1.79	0.22
	Radio/TV	4	34635	0.05	0.06	0.1	0.35	0.6	0.98	1.1	0.5
	keine HF-Primärquelle	24	206704	0.02	0.03	0.05	0.08	0.15	0.32	1.63	0.1

Tabelle 34: Prozentuale Beiträge verschiedener Funkdienstgruppen zur elektrischen Gesamtfeldstärke, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 24 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 unten gelistet. Der quadratische Mittelwert (RMS) der Gesamtfeldstärke wird anhand von Gleichung (4) berechnet.

Messungstyp	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Kurzzeitmessung	Mobilfunk	29	1744	0.3	72	0.2	1.2	19.6	5.3
Radio/TV		4	240	0.48	0.9	0	0	85.5	13.3	0.2
keine HF-Primärquelle		24	1482	0.18	30.8	0.4	0.2	22.8	40.2	5.6
Primärquelle		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
mobile Messung	Mobilfunk	29	2785	0.28	70.2	0.2	0.4	23.6	5	0.5
	Radio/TV	4	400	0.51	2.3	0	0	95.3	2.3	0.1
	keine HF-Primärquelle	24	2410	0.18	45.2	1.1	0.4	27.7	22.7	3
	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Langzeitmessung	Mobilfunk	29	247293	0.35	80.2	0.1	0.2	18.7	0.4	0.4
	Radio/TV	4	34635	0.54	2.8	0	0.1	96.6	0.3	0.1
	keine HF-Primärquelle	24	206704	0.24	52.5	0.8	0.5	41.9	4.1	0.1
	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)

Tabelle 35: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der Peak HF elektrischen Gesamfeldstärke für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 25 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)							
	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Kurzzeitmessung	Mobilfunk	29	1744	0.14	0.24	0.72	0.99	2.08	4.34	6.86	1.36
	Radio/TV	4	240	0.55	0.6	0.82	1.85	3.06	6.53	9.11	2.24
	keine HF-Primärquelle	24	1482	0.1	0.21	0.64	1.05	1.9	5.04	9.77	1.26
	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
mobile Messung	Mobilfunk	29	2785	0.04	0.19	0.49	0.87	1.62	4.13	10.39	1.13
	Radio/TV	4	400	0.15	0.29	0.5	0.88	2.74	4.91	6.99	2.24
	keine HF-Primärquelle	24	2410	0.01	0.08	0.27	0.61	1.32	3.58	9.77	1.05
	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Langzeitmessung	Mobilfunk	29	247293	0.07	0.22	0.38	0.85	1.56	5.3	9.64	1.18
	Radio/TV	4	34635	0.2	0.24	0.3	1.33	2.44	2.97	6.49	2.14
	keine HF-Primärquelle	24	206704	0.06	0.13	0.26	0.49	1.11	3.08	8.69	0.85

Tabelle 36: Prozentuale Beiträge verschiedener Funkdienstgruppen zur elektrischen Gesamtfeldstärke, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 25 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.

	Primärquelle			Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
		N	n							
Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	29	1744	2.01	61.4	0.2	7.6	5.9	19	5.8
	Radio/TV	4	240	2.82	0.8	0.1	0	25.8	72.4	1
	keine HF-Primärquelle	24	1482	2.1	9.1	0.2	0.2	2.3	82.4	5.7
mobile Messung	Primärquelle	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	29	2785	1.82	63.7	0.2	2.7	10.8	21	1.5
	Radio/TV	4	400	2.29	4.4	0.1	0.3	61.8	32.8	0.6
	keine HF-Primärquelle	24	2410	1.62	24.6	0.7	1.5	5.4	61.8	6
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Peak (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	29	247293	2.22	90	0.1	1.2	6.9	1.2	0.6
	Radio/TV	4	34635	1.7	9.5	0.3	1.1	83.1	5	0.9
	keine HF-Primärquelle	24	206704	1.73	70.1	0.4	2.6	8.8	17.8	0.3

Tabelle 37: 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 26 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

Messung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Kurzzeitmessung	Mobilfunk	29	1744	0.04	0.24
	Radio/TV	4	240	0.16	0.42	0.76
	keine HF-Primärquelle	24	1482	0.03	0.16	0.37
mobile Messung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	29	2785	0.05	0.23	0.76
	Radio/TV	4	400	0.16	0.44	0.73
	keine HF-Primärquelle	24	2410	0.05	0.15	0.43
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	29	247293	0.05	0.25	1.23
	Radio/TV	4	34635	0.07	0.4	0.95
	keine HF-Primärquelle	24	206704	0.03	0.15	0.98

Tabelle 38: 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 27 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

Messung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Kurzzeitmessung	Mobilfunk	29	1744	0.26	1.58
	Radio/TV	4	240	0.63	2.42	4.65
	keine HF-Primärquelle	24	1482	0.18	1.64	4.61
mobile Messung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	29	2785	0.29	1.52	4.12
	Radio/TV	4	400	0.52	1.99	3.6
	keine HF-Primärquelle	24	2410	0.26	1.4	3.14
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	29	247293	0.21	1.48	7.43
	Radio/TV	4	34635	0.26	1.33	2.88
	keine HF-Primärquelle	24	206704	0.12	1.02	7.04

4.2 Statistische Kenngrößen der NF-Exposition

Tabelle 39: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der NF-MF magnetischen Gesamtflussdichte für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 28 dargestellt. Der Berechnung liegt Gleichung (2) 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. Bei den Bezeichnungen für die Primärquelle bedeutet 1sp einspurig und 2sp bedeutet zweispurig.

				NF-MF-Exposition (µT)							
	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Me- dian	Q75	Q95	max	IQR
	Kurzzeitmessung	Eisenbahnlinien 2sp	5	300	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.38	1.02
Eisenbahnlinien 1sp		4	242	0.02	0.03	0.04	0.06	0.13	0.29	0.63	0.09
Eisenbahnlinien 2sp Tunnel		1	60	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.09	0.15	0.02
Eisenbahnlinien 1sp Tunnel		1	60	0.08	0.12	0.18	0.25	0.31	0.42	0.54	0.13
Tramlinien		1	60	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.02
220/380 kV Freileitung		3	180	0.04	0.05	0.06	0.27	1.65	1.67	1.68	1.59
36-150 kV Freileitung		3	180	0.02	0.02	0.02	0.18	0.28	0.3	0.3	0.26
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		33	1983	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.23	0.48	0.04
mobile Messung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Me- dian	Q75	Q95	max	IQR
	Eisenbahnlinien 2sp	5	501	0.02	0.03	0.05	0.09	0.19	0.35	0.93	0.14
	Eisenbahnlinien 1sp	4	401	0.03	0.03	0.04	0.07	0.12	0.25	0.56	0.08
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	100	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.11	0.18	0.02
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	101	0.09	0.13	0.17	0.23	0.3	0.4	0.56	0.13
	Tramlinien	1	100	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.18	0.23	0.04
	220/380 kV Freileitung	3	301	0.04	0.04	0.05	0.33	1.22	1.85	2.07	1.17
	36-150 kV Freileitung	3	300	0.02	0.02	0.02	0.16	0.2	0.27	0.33	0.18
	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	33	3223	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.25	0.56	0.04
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Me- dian	Q75	Q95	max	IQR
	Eisenbahnlinien 2sp	5	43200	0.02	0.03	0.04	0.07	0.12	0.28	1.11	0.08
	Eisenbahnlinien 1sp	4	34543	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.26	1.09	0.06
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	8640	0.02	0.04	0.14	1.32	1.35	1.39	2.92	1.21
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	8640	0.05	0.1	0.13	0.18	0.23	0.34	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	3	25823	0.01	0.03	0.11	0.3	1.51	1.86	2.07	1.4
	36-150 kV Freileitung	3	25091	0.01	0.02	0.03	0.17	0.29	0.35	0.4	0.26
	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	33	290014	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.18	1.26	0.05

Tabelle 40: Prozentuale Beiträge verschiedener NF-MF Quellen zur magnetischen Gesamtflussdichte, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 28 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.

Kurzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (μ T)	Eisen- bahnstrom (%)	Stromver- sorgung (%)	Tram-Rip- pelstrom (%)
	Eisenbahnlinien 2sp	5	300	0.2	98.9	1	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	4	242	0.14	95.1	4.8	0.2
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	60	0.06	93.4	5.7	1
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	60	0.27	75.5	24.5	0
	Tramlinien	1	60	0.04	65.5	31.6	3
	220/380 kV Freileitung	3	180	0.97	0	100	0
	36-150 kV Freileitung	3	180	0.2	11.6	88.3	0.1

	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	33	1983	0.1	36.3	63.1	0.6
mobile Messung	Primärquelle	N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom (%)	Stromversorgung (%)	Tram-Rippelstrom (%)
	Eisenbahnlinien 2sp	5	501	0.18	97.8	2.1	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	4	401	0.12	90.6	9.1	0.3
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	100	0.07	82.1	17	0.9
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	101	0.26	70.4	29.6	0.1
	Tramlinien	1	100	0.09	66.4	30.7	3
	220/380 kV Freileitung	3	301	0.9	0	100	0
	36-150 kV Freileitung	3	300	0.16	13.1	86.8	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	33	3223	0.11	33.6	66	0.5
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (μT)	Eisenbahnstrom (%)	Stromversorgung (%)	Tram-Rippelstrom (%)
	Eisenbahnlinien 2sp	5	43200	0.14	96.2	3.6	0.2
	Eisenbahnlinien 1sp	4	34543	0.12	93.2	6.5	0.3
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	8640	1.15	0.6	99.4	0
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	8640	0.21	58.9	41	0.1
	Tramlinien	1	8640	0.13	78.7	17.4	4
	220/380 kV Freileitung	3	25823	0.97	0	100	0
	36-150 kV Freileitung	3	25091	0.21	6.5	93.4	0.1
	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	33	290014	0.09	31.3	68.2	0.5

Tabelle 41: 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 29 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

	Primärquelle	N	n	Minimum des arithmetischen Mittels (μT)	Mittelwert des Arithmetischen Mittels (μT)	Maximum des arithmetischen Mittels (μT)
	Kurzeitmessung	Eisenbahnlinien 2sp	5	300	0.04	0.15
Eisenbahnlinien 1sp		4	242	0.05	0.1	0.22
Eisenbahnlinien 2sp Tunnel		1	60	0.06	0.06	0.06
Eisenbahnlinien 1sp Tunnel		1	60	0.25	0.25	0.25
Tramlinien		1	60	0.04	0.04	0.04
220/380 kV Freileitung		3	180	0.05	0.66	1.66
36-150 kV Freileitung		3	180	0.02	0.16	0.29
1-36 kV Freileitung		5	300	0.02	0.18	0.55
Trafostationen		1	60	0.09	0.09	0.09
keine NF-Primärquelle		33	1983	0.02	0.07	0.37
mobile Messung		Primärquelle	N	n	Minimum des arithmetischen Mittels (μT)	Mittelwert des Arithmetischen Mittels (μT)
	Eisenbahnlinien 2sp	5	501	0.04	0.14	0.23
	Eisenbahnlinien 1sp	4	401	0.04	0.09	0.18
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	100	0.06	0.06	0.06
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	101	0.25	0.25	0.25
	Tramlinien	1	100	0.07	0.07	0.07
	220/380 kV Freileitung	3	301	0.05	0.62	1.48
	36-150 kV Freileitung	3	300	0.02	0.14	0.23
	1-36 kV Freileitung	5	501	0.02	0.3	1.19
	Trafostationen	1	100	0.08	0.08	0.08
	keine NF-Primärquelle	33	3223	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	5	43200	0.05	0.1	0.16
	Eisenbahnlinien 1sp	4	34543	0.04	0.08	0.14
	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	1	8640	0.98	0.98	0.98
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	8640	0.19	0.19	0.19
	Tramlinien	1	8640	0.11	0.11	0.11
	220/380 kV Freileitung	3	25823	0.07	0.68	1.65
	36-150 kV Freileitung	3	25091	0.03	0.17	0.31
	1-36 kV Freileitung	5	43158	0.02	0.14	0.41
	Trafostationen	1	8640	0.08	0.08	0.08
	keine NF-Primärquelle	33	290014	0.02	0.07	0.25

V Statistische Kenngrößen der stationären Dauermessungen

5.1 Mobilfunkantennenstandorte in der Umgebung der Dauermessstationen



Abbildung 43: 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.



Abbildung 44: 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

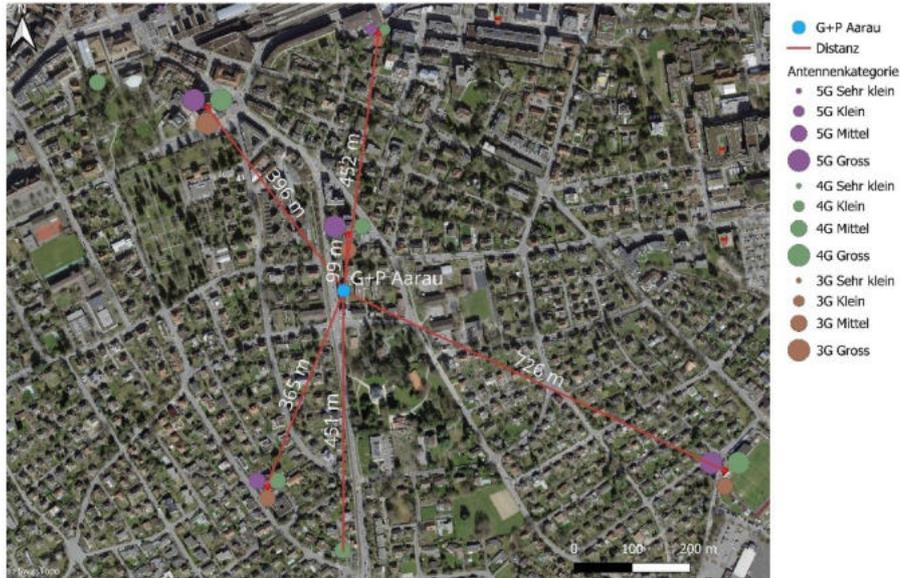


Abbildung 45: Mobilfunkantennenstandorte in der näheren Umgebung der Dauermessstation in Aarau, klassiert nach Mobilfunkstandard und Sendeleistung [21]. Die roten Distanzlinien sind als kürzeste horizontale Abstände zwischen der Antenne und dem Feldstärkesensor aufzufassen. Höhenunterschiede werden nicht berücksichtigt. Da keine Informationen über die azimutale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

LZM Standort TPH Allschwil



Abbildung 46: 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 azimutale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

LZM Standort FaW ETH



Abbildung 47: 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 azimutale Ausrichtung der Antennensektoren vorliegen, ist eine Beitragsabschätzung einzelner Antennen unmöglich.

5.2 Zeitlicher Feldstärkeverlauf gruppiert nach Funkdienstgruppen

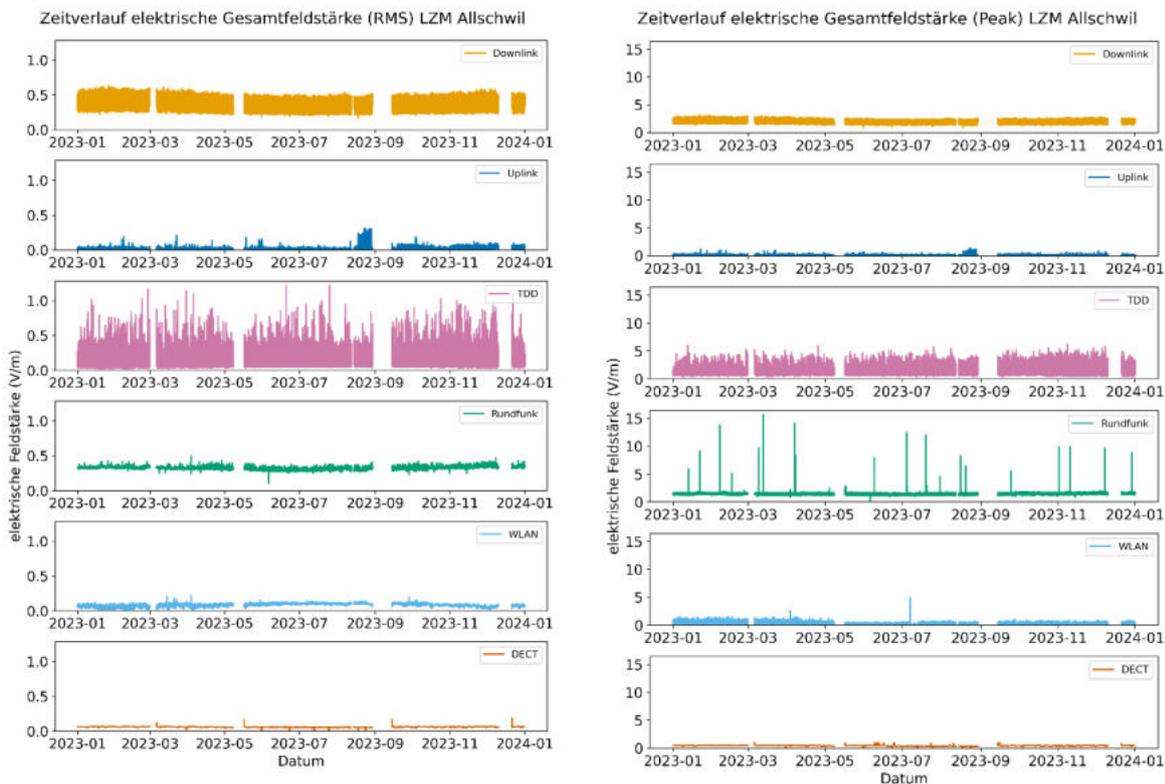


Abbildung 48: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2023 am TPH Standort in Allschwil, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt.

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
 Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS
 23.05.2024

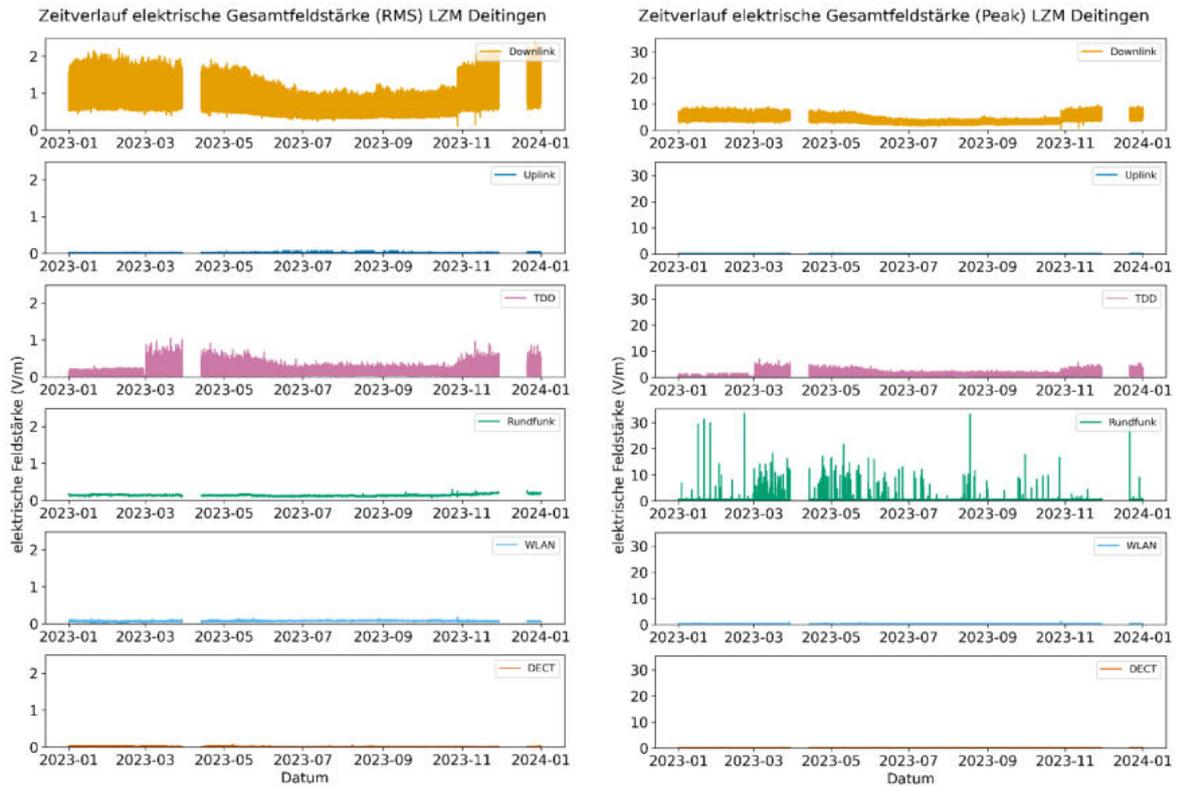


Abbildung 49: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2023 am G+P Standort in Deitingen, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt.

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
 Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS
 23.05.2024

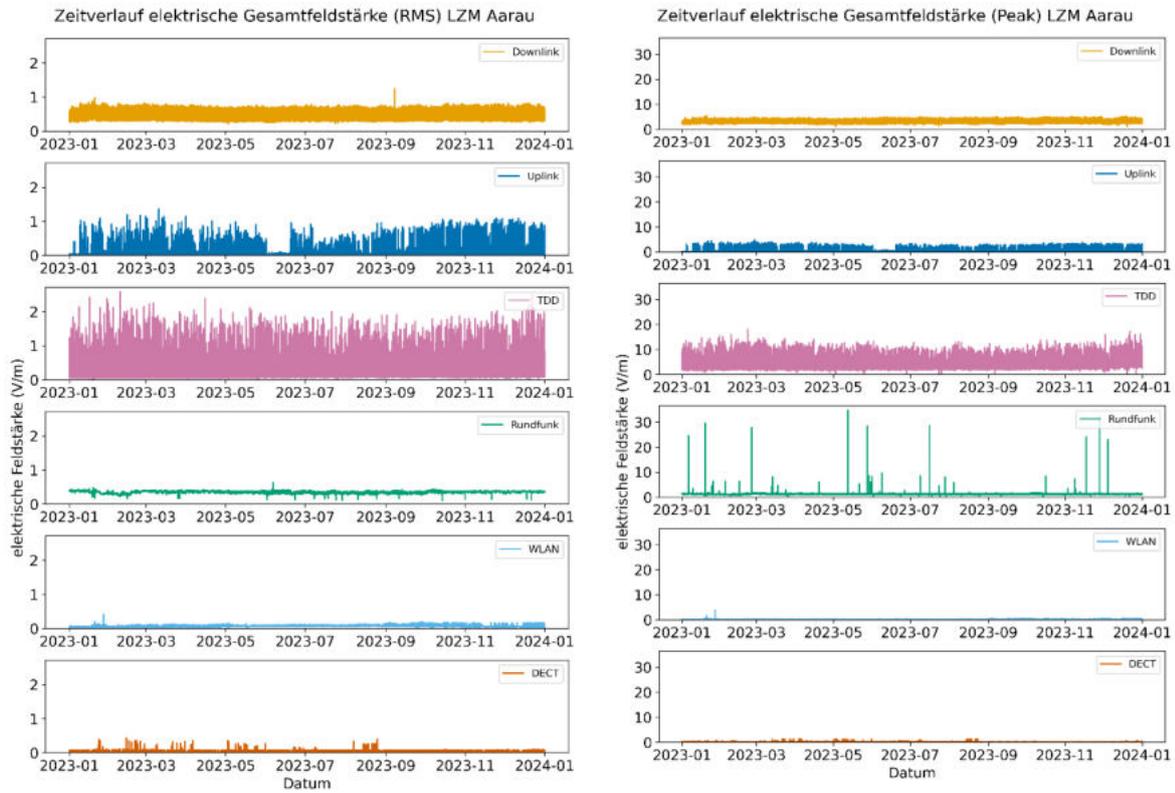


Abbildung 50: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2023 am G+P Standort in Aarau, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt.

Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung
 Jahresbericht 2023 - Projektkonsortium SwissNIS
 23.05.2024

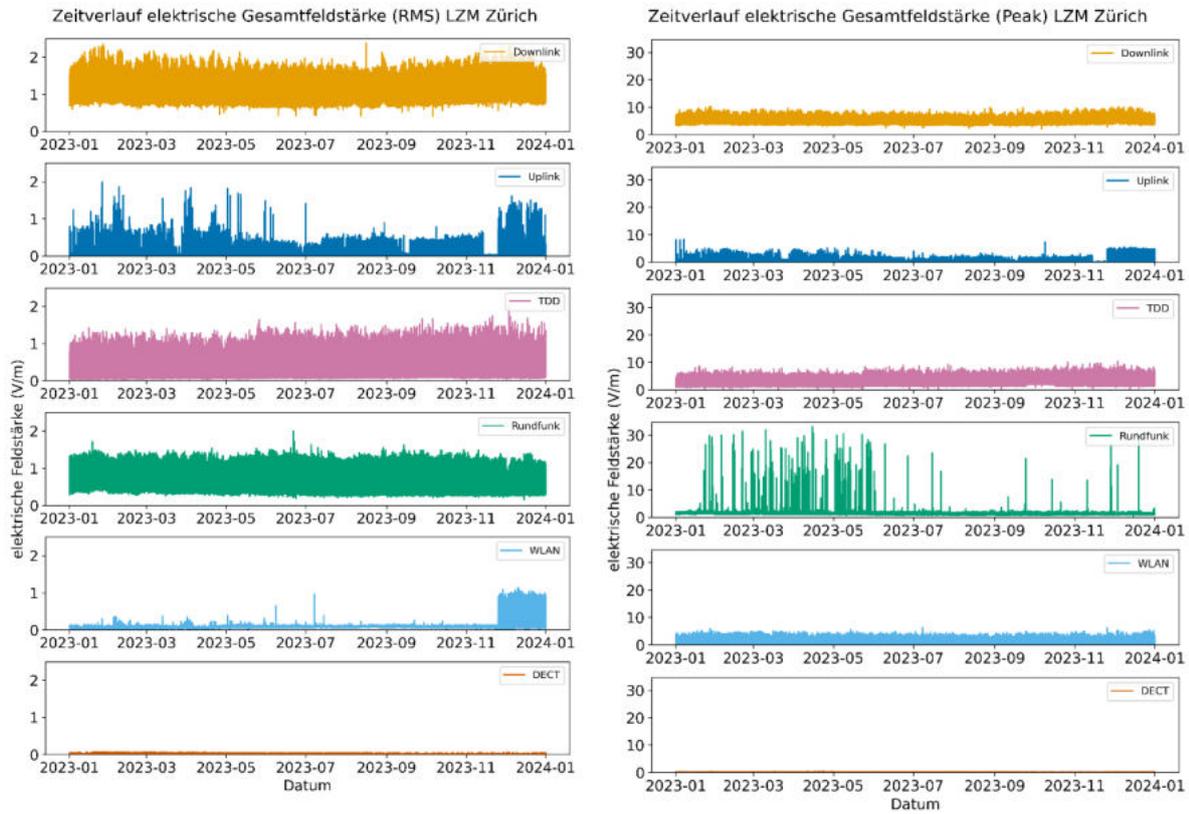


Abbildung 51: Elektrischer Feldstärkeverlauf der Dauermessungen für das Jahr 2023 am Fields at Work Standort in Zürich, gruppiert nach Quellenkategorie. Der linke Teil der Grafik zeigt RMS-Werte und die entsprechenden Peak-Werte sind im rechten Teil dargestellt. Bei der Messung in Zürich kann eine weitere 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 42: 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)							
	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Neuenburg	Downlink	2621255	0.09	0.14	0.2	0.24	0.28	0.37	1.31
Uplink		2621255	0	0	0.01	0.01	0.05	0.14	0.58	0.04
TDD		2621255	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.09	0.39	0.03
Rundfunk		2621255	0.07	0.09	0.09	0.1	0.12	0.13	0.16	0.03
WLAN		2621255	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.09	0.25	0.05
DECT		2621255	0	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06	0.1	0.01
Gesamt		2621255	0.14	0.19	0.25	0.28	0.32	0.41	1.32	0.07
Primärquelle		n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Deitingen	Downlink	2837281	0.11	0.38	0.49	0.63	0.81	1.3	2.37	0.32
	Uplink	2837281	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.01
	TDD	2837281	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.09	1.04	0.02
	Rundfunk	2837281	0.07	0.1	0.12	0.13	0.15	0.18	0.29	0.03
	WLAN	2837281	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.18	0.02
	DECT	2837281	0	0	0	0	0.01	0.01	0.08	0.01
	Gesamt	2837281	0.19	0.4	0.51	0.65	0.83	1.31	2.38	0.32
	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Aarau	Downlink	3137744	0.2	0.32	0.4	0.48	0.55	0.63	1.24	0.15
	Uplink	3137744	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.15	1.36	0.01
	TDD	3137744	0.02	0.09	0.11	0.13	0.16	0.26	2.59	0.05
	Rundfunk	3137744	0.1	0.3	0.34	0.36	0.38	0.4	0.63	0.04
	WLAN	3137744	0.01	0.02	0.03	0.06	0.07	0.09	0.41	0.04
	DECT	3137744	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.44	0.01
	Gesamt	3137744	0.38	0.5	0.56	0.62	0.68	0.77	2.67	0.12

	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR	
	Allschwil	Downlink	2780519	0.17	0.25	0.34	0.39	0.43	0.48	0.63	0.09
Uplink		2780519	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.31	0.01	
TDD		2780519	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.14	1.22	0.04	
Rundfunk		2780519	0.1	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.5	0.02	
WLAN		2780519	0.01	0.03	0.06	0.08	0.1	0.12	0.22	0.04	
DECT		2780519	0.01	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.19	0.01	
Gesamt		2780519	0.37	0.42	0.48	0.52	0.56	0.6	1.33	0.08	
Zürich	Downlink	3153757	0.4	0.74	0.86	1.06	1.33	1.62	2.38	0.47	
	Uplink	3153757	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	1.99	0.02	
	TDD	3153757	0.02	0.07	0.11	0.15	0.21	0.39	2.01	0.1	
	Rundfunk	3153757	0.15	0.27	0.28	0.3	0.35	0.42	2	0.07	
	WLAN	3153757	0.01	0.03	0.06	0.07	0.09	0.1	1.14	0.03	
	DECT	3153757	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.02	
	Gesamt	3153757	0.53	0.81	0.94	1.13	1.4	1.69	2.54	0.46	

Tabelle 43: 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)							
	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Neuenburg	Downlink	2621255	0.43	0.74	0.96	1.14	1.4	1.87	3.74	0.44
	Uplink	2621255	0	0	0.01	0.01	0.07	0.16	2.53	0.06
	TDD	2621255	0.01	0.13	0.26	0.36	0.51	0.85	4.88	0.25
	Rundfunk	2621255	0.08	0.15	0.22	0.27	0.31	0.37	10.26	0.09
	WLAN	2621255	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	1.61	0.02
	DECT	2621255	0.01	0.1	0.13	0.16	0.22	0.34	0.7	0.09
	Gesamt	2621255	0.48	0.88	1.08	1.27	1.54	2.02	10.33	0.46
	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Deitingen	Downlink	2837281	0.63	2.4	2.94	3.75	4.64	6.17	9.7	1.7
	Uplink	2837281	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.34	0.02
	TDD	2837281	0.02	0.25	0.56	0.76	1	1.59	7.11	0.44
	Rundfunk	2837281	0.12	0.25	0.31	0.36	0.42	0.53	33.57	0.11
	WLAN	2837281	0.01	0.04	0.06	0.11	0.16	0.24	1.06	0.1
	DECT	2837281	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.29	0.01
	Gesamt	2837281	0.79	2.54	3.07	3.86	4.78	6.28	34.06	1.71
	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Aarau	Downlink	3137744	1.05	2.41	2.71	2.94	3.2	3.62	5.4	0.49
	Uplink	3137744	0	0.01	0.02	0.03	0.15	0.84	4.98	0.13
	TDD	3137744	0.31	2.62	3.29	3.79	4.39	5.47	18.07	1.1
	Rundfunk	3137744	0.14	0.97	1.1	1.21	1.28	1.39	34.73	0.18
	WLAN	3137744	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.14	3.96	0.03
	DECT	3137744	0.01	0.09	0.11	0.13	0.16	0.3	1.44	0.05
	Gesamt	3137744	2.53	4.05	4.58	5	5.51	6.43	35.02	0.93

	Primärquelle	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Allschwil	Downlink	2780519	0.92	1.57	1.81	1.97	2.12	2.35	3.15
Uplink		2780519	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	1.34	0.01
TDD		2780519	0.23	0.67	0.93	1.22	1.48	1.83	6.2	0.55
Rundfunk		2780519	0.21	1.24	1.33	1.4	1.46	1.55	15.65	0.13
WLAN		2780519	0.01	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	4.87	0.02
DECT		2780519	0.03	0.32	0.38	0.42	0.45	0.5	1.02	0.07
Gesamt		2780519	1.74	2.32	2.57	2.76	2.95	3.21	15.83	0.38
Zürich	Downlink	3153757	2.1	3.95	4.55	5.25	5.98	6.95	10.25	1.43
	Uplink	3153757	0	0.03	0.06	0.08	0.1	0.62	8.25	0.04
	TDD	3153757	0.15	1.42	1.83	2.26	2.92	3.73	10.36	1.09
	Rundfunk	3153757	0.41	0.89	0.99	1.07	1.22	1.4	33.02	0.23
	WLAN	3153757	0.01	0.08	0.18	0.29	0.47	0.96	6.38	0.29
	DECT	3153757	0.04	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.54	0.06
	Gesamt	3153757	2.85	4.57	5.25	5.96	6.72	7.74	33.43	1.47

VI Liste der Standorte von Spotmessungen

Tabelle 44: 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_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_SN065	Frauenfeld	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_SN065A	Frauenfeld	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_SN082	Winterthur	Radio/TV	MFH	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp001	Lungern	220/380 kV Freileitung	Bauernhaus	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp002	Münchenstein	220/380 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp003	Münchenstein	Tramlinien	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp005	Dübendorf	Eisenbahnlinien 2sp	Zweifamilienhaus	Wohnen	Wohnen	Keller
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_mp024	Schwyz	Mobilfunk	anderes	Wohnen	keine	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_mp040	Landquart	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen

Spot-ID	Gemeinde	Primäre Quelle	Haustyp	Gebäude- nutzung Messort	Gebäude- nutzung oben	Gebäude- nutzung unten
spot_mp041	Erstfeld	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_mp050	Disentis	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	Zweifamilienhaus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp052	Visp	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp052A	Visp	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Büro
spot_mp054	Zernez	36-150 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp055	Winterthur	220/380 kV Freileitung	Reihenhaus	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp057	Châtillon	36-150 kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Estrich	Keller
spot_mp061	Solothurn	Trafostationen	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp064	Igis	Radio/TV	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unter- kellert
spot_mp069	Laufenburg	Eisenbahnlinien 1sp	EFH freistehend	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp075	Biel/Bienne	Eisenbahnlinien 2sp Tunnel	Reihenhaus	Wohnen	Wohnen	anderes
spot_mp078	Biel/Bienne	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp078A	Biel/Bienne	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
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	Zweifamilienhaus	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp092	Riedern	1-36 kV Freileitung	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp094	Bowil	Eisenbahnlinien 2sp	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp096	Bätterkinden	1-36 kV Freileitung	Reihenhaus	Wohnen	Wohnen	Keller

Tabelle 45: 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 Kurzzeitmessung	Raumnutzung Kurzzeitmessung	Anzahl Stockwerke mobile Messung	Anzahl Zimmer mobile Messung	Stockwerk Langzeitmessung	Position Messgerät Langzeitmessung
spot_SN004	EG	Wohnen	3	7	OG1	Stuhl neben Bett
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_SN065	OG2	Wohnen	1	7	OG2	Nachttisch
spot_SN065A	EG	Wohnen	1	5	EG	Nachttisch
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_mp011	DG	Wohnen	1	4	DG	anderes
spot_mp011A	EG	Büro/Arbeitszimmer	1	5	EG	anderes
spot_mp012A	EG	Wohnen	1	5	EG	anderes
spot_mp013	DG	Wohnen	1	6	DG	Nachttisch
spot_mp013A	EG	Büro/Arbeitszimmer	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/Arbeitszimmer	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_mp021	OG1	Wohnen	1	5	OG1	Hinterbau bei Bett
spot_mp024	DG	Wohnen	1	10	DG	Nachttisch
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_mp040	OG4	Wohnen	1	5	OG4	Stuhl neben Bett
spot_mp041	OG1	Wohnen	1	7	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_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_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_mp057	EG	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp061	EG	Wohnen	1	4	EG	Nachttisch
spot_mp064	OG1	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch
spot_mp069	OG1	Büro/Arbeits- zimmer	2	10	OG1	Nachttisch
spot_mp075	EG	Wohnen	1	10	EG	Nachttisch
spot_mp078	OG2	unbekannt	1	5	OG2	anderes
spot_mp078A	EG	unbekannt	1	8	EG	anderes
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_mp094	EG	Wohnen	3	10	OG1	Nachttisch
spot_mp096	EG	Wohnen	1	8	EG	Nachttisch