



Expositionsmessungen nichtionisierende Strahlung Jahresbericht 2022 - Projektkonsortium SwissNIS

Aarau, 30. August 2023

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

FaW
Fields at Work GmbH
Hegibachstrasse 41
8032 Zurich

G+P
Grolimund + Partner AG
Entfelderstrasse 45
5000 Aarau

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

Autor/Autorin:

Toni Ziegler, G+P, Projektleiter
Martin Rösli, 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.

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	02.06.2023	Projektteam	Jahresbericht 2022	SwissNIS, Auftraggeberin (BAFU)
V1.1	30.06.2023	Projektteam, BAFU	Kommentare zur Version 1.0	SwissNIS, Auftraggeberin (BAFU)
V1.2	30.08.2023	Projektteam	Jahresbericht 2022 überarbeitet	SwissNIS, Auftraggeberin (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.....	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	14
2.4.2 Routenmessungen im Jahr 2022.....	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 Allgemeiner Überblick - HF-Exposition	27
3.1.2 Allgemeiner Überblick - NF-Exposition.....	33
3.1.3 Zusätzliche Analysen in Zügen - HF- und NF-Exposition.....	37
3.1.4 Zusätzliche Analysen in Schulen - HF- und NF-Exposition.....	38
3.1.5 Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW).....	40
3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen	42
3.2.1 HF-Exposition	42
3.2.2 NF- Exposition	45
3.3 Stationäre Dauermessungen	48
4. Diskussion.....	49
4.1 Routenmessungen.....	49

4.1.1	Allgemeine Routenmessungen.....	49
4.1.2	Messungen in Zügen	50
4.1.3	Messungen an Schulen	50
4.1.4	Vergleich 2021/2022 von Routenmessungen.....	51
4.2	Spotmessungen	52
4.3	Limitierungen	54
5.	Literaturverzeichnis.....	55
6.	Datenquellen.....	57
Anhang		
I	Glossar.....	58
II	Liste der Standortgemeinden von Mikroumgebungen.....	60
III	Statistische Kenngrößen der Routenmessungen.....	64
IV	Statistische Kenngrößen der Spotmessungen.....	77
V	Liste der Standorte von Spotmessungen.....	84

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 Belastung 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 Jahresbericht 2022 zur Erhebung der Messdaten, der durch das Projektkonsortium verfasst wurde, welches den Zuschlag für die Ausschreibung erhalten hat.

Das Hauptziel dieses Jahresberichts besteht darin, die Messungen, die im Rahmen des Schweizer NIS-Expositionsmonitorings im Jahr 2022 durchgeführt wurden, zu beschreiben. Der Jahresbericht 2022 beschreibt einerseits das grundlegende Konzept und die Art der Datenerhebung, andererseits werden die Ergebnisse der im Jahr 2022 durchgeführten Messungen präsentiert. Da es sich um den zweiten Jahresbericht während der Dauer der Datenerhebung handelt und eine Wiederholung der Messungen alle 2 Jahre geplant ist, sind Vergleiche mit den Messdaten 2021 nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.

Tabelle 1: Messkonzept, Umfang und Wiederholungsrhythmus der Messkampagnen

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

Bei den Routenmessungen werden Daten von insgesamt 150 Mikroumgebungen, 90 öffentlichen Orten und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln, welche im Jahre 2022 gesammelt wurden, dargestellt. Zusätzlich wurden die bereits im Jahresbericht 2021 analysierten Routenmessungen mit einer Analyse der Exposition in Zügen nach Zugbelegung sowie einer vertieften Analyse für Schulen ergänzt.

Bei den Spotmessungen handelt es sich bei den präsentierten Daten in diesem Jahresbericht um 26 Standorte, die zwischen 2021 und März 2023 vermessen wurden. Hier wurde die Stichprobe mit Messungen aus dem 1. Quartal 2023 ergänzt, da wegen Pandemie-Einschränkungen in den Jahren 2021/2022 weniger Messungen als geplant durchgeführt werden konnten.

Der nächste Jahresbericht (2023) wird dann stärker auf die zeitlichen Veränderungen fokussieren, da ein Vergleich der Messungen 2023-2021 möglich ist und zudem stationäre Langzeitmessungen vom ganzen Jahr 2023 vorliegen werden.

Über die weitere Projektlaufzeit wird die Datengrundlage stetig erweitert und in jährlichen Berichten zusammengefasst sowie mit den Daten vorhergehender Jahre verglichen, um die zeitliche Entwicklung der Immissionen zu beurteilen.

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 2022 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

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	Polycm / 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 [6].

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 [7].

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 Messaufbau 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. Die detaillierte Beschreibung des Effektes und der entsprechenden Korrektur der Messwerte sind im Jahresbericht 2021 [2] ausgeführt.

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 wiederholbar 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 42 im Anhang. Das Mobiltelefon des Messtechnikers befindet sich während der gesamten Messung im Flugmodus.

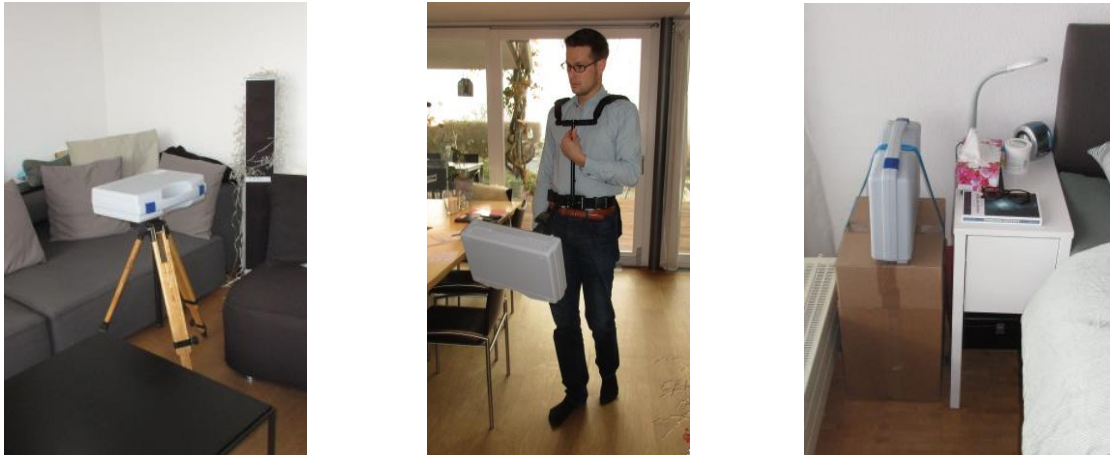


Abbildung 3: Darstellung des Mess-Setups für „spot-local“ (links), „spot-area“ (Mitte) und „spot-24h“ (rechts)

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. 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).

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.

Übersicht der Routenmessungen (Stand: Mai 2023)

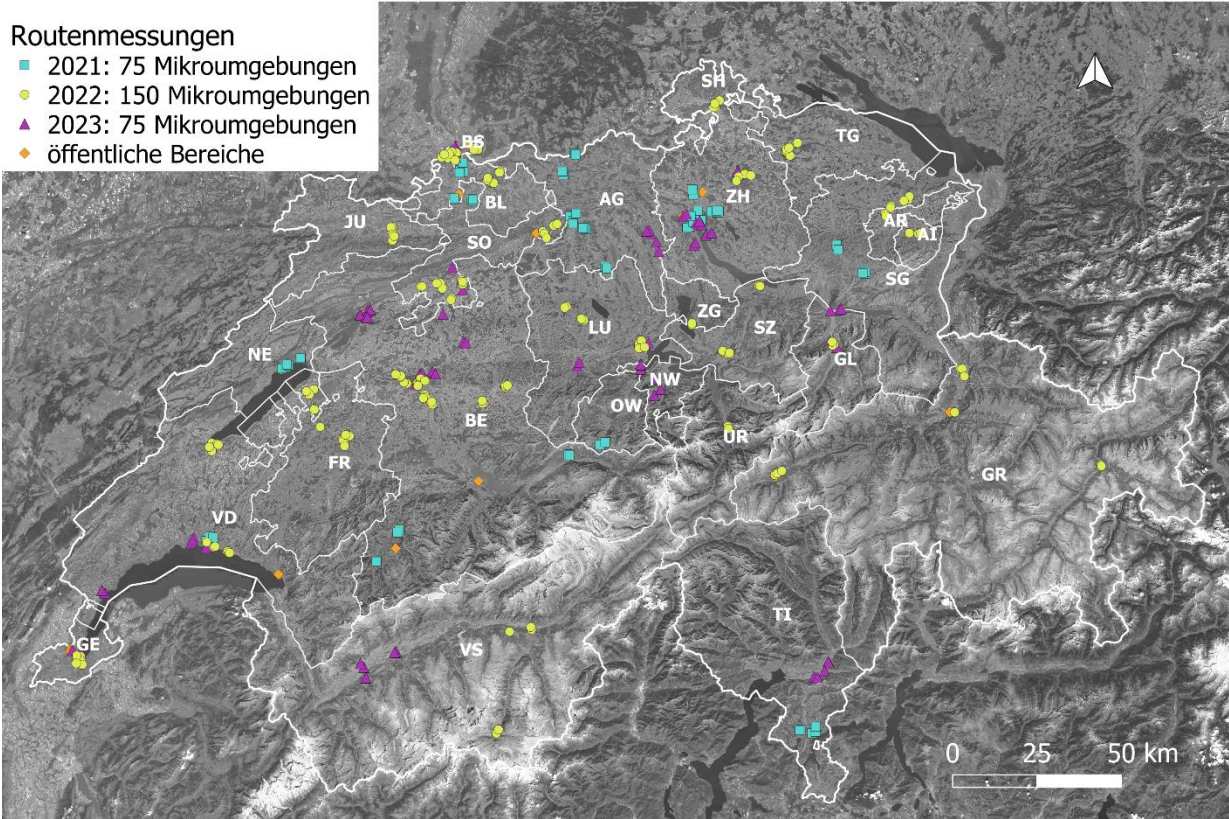


Abbildung 4: Karte der Standorte von Routenmessungen (2021-2023). In diesem Bericht werden die Daten von 150 Mikroumgebungen aus 2022 analysiert (gelbe Punkte). Die Routenmessungen für das Jahr 2021 (blaue Quadrate) wurden im Jahresbericht 2021 veröffentlicht, die Routenmessungen für das Jahr 2023 (violette Dreiecke) werden im Jahresbericht 2023 veröffentlicht. Die Spotmessungen wurden grösstenteils innerhalb 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, die 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 [3] 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 (Radius 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 im Jahr 2022

In diesem Bericht werden die Daten der im Jahr 2022 durchgeführten Routenmessungen berichtet, die 150 Mikroumgebungen (von insgesamt 300 zwischen 2021 und 2023) umfassen. Die Verteilung dieser 150 Mikroumgebungen ist in Abbildung 4 in Gelb dargestellt. Im Jahr 2022 wurden vier Messkampagnen von Routenmessungen durchgeführt:

1. 26. Jan. - 15. Feb. 2022
2. 26. Apr. - 18. Mai 2022
3. 27. Jul. - 12. Aug. 2022
4. 25. Okt. - 14. Nov. 2022

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. Im Jahr 2022 wurden 150 Mikroumgebungen, 90 öffentliche Bereiche und zahlreiche öffentliche Verkehrsmittel gemessen.

Die 150 Mikroumgebungen wurden in 11 Mikroumgebungstypen zusammengefasst: 10 urbane Stadtzentren, 10 urbane zentrale Wohngebiete, 18 urbane dezentrale Wohngebiete, 21 suburbane Stadtzentren, 29 suburbane Wohngebiete, 13 ländliche Stadtzentren, 19 ländliche Wohngebiete, 14 Industriegebiete, 4 Sport-/Freizeitgebiete, 9 landwirtschaftliche Gebiete, und 3 Naturgebiete. Im Jahresbericht 2021 [2] wurden zwei Mikroumgebungstypen als "Stadtzentrum" und "Wohngebiet" bezeichnet. In diesem Jahresbericht werden diese Mikroumgebungstypen in zwei Kategorien unterteilt: "suburbanes" und "ländliches". Die Definition von Mikroumgebungen ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Anzahl der Mikroumgebungen und öffentlichen Bereiche pro Gemeinde ist in den Tabelle 12 bzw. Tabelle 13 angegeben.

Tabelle 6: Definition, Stichprobenzahl und Beschreibung der 11 Mikroumgebungstypen im Jahr 2022.

Mikroumgebung	Anzahl (N)	Beschreibung
urbanes Stadtzentrum	10	Grossstadtzentrum, typischerweise in Innenstädten mit hohen Gebäudehöhen (>4 Stockwerke)

Mikroumgebung	Anzahl (N)	Beschreibung
urbanes zentrales Wohngebiet	10	in der Nähe eines städtischen Zentrums mit schmalen Gebäudestrukturen und hohen Gebäudehöhen (> 4 Stockwerke)
urbanes dezentrales Wohngebiet	18	am äusseren Rand einer Grossstadt mit einem höheren Anteil an Grünflächen als im Zentrum und mittleren Gebäudehöhen (2-3 Stockwerke)
suburbanes Stadtzentrum	21	Vorstädtisches Zentrum, einschliesslich Geschäften und Restaurants, mit Gebäudehöhen von 3-4 Stockwerken
suburbanes Wohngebiet	29	Vorstädtisches Wohngebiet überwiegend bestehend aus Wohnungen oder Häusern mit Wohnungen
ländliches Stadtzentrum	13	Dorfzentrum, einschliesslich Geschäften und Restaurants, mit Gebäudehöhen von 2-3 Stockwerken
ländliches Wohngebiet	19	Vorstädtisches und ländliches Wohngebiet, überwiegend bestehend aus Wohnungen oder Häusern
Industriegebiet	14	Geschäfts- oder Produktionsgebäude, unabhängig von der Stadttypologie
Sport-/Freizeitgebiet	4	Stadtparks und Sportplätze in den Städten
landwirtschaftliches Gebiet	9	bewirtschaftete Flächen wie Felder oder Weinberge
Naturgebiet	3	Wälder, Wiesen oder Naturschutzgebiete

Ebenso haben wir die öffentlichen Bereiche in 8 Messumgebungstypen zusammengefasst: 29 Bahnhöfe, 23 Bushaltestellen, 5 Tramhaltestellen, 11 Supermärkte, 19 Restaurants, 6 Hochschulen (ETH, UNI, FH), 5 Schulen (zwei Primar- und zwei Sekundarschulen, und ein Gymnasium) sowie 1 Bibliothek.

Eine zusätzliche Analyse wird in Zügen durchgeführt und die Exposition nach Zugbelegung wird analysiert. Bei den Messungen in Zügen wurde die Belegung als hoch, mittel oder tief bewertet. Die Belegung wird anhand der Anzahl der Sitzplätze definiert, die während der Messung um die gemessene Person herum besetzt sind. Eine hohe, mittlere und tiefe Belegung entspricht dabei 75-100%, 25-75% bzw. 0-25% der besetzten Sitzplätze.

Eine zusätzliche Analyse wird in Schulen durchgeführt. Im Rahmen des gesamten Projekts (2021-2025) werden mindestens 9 Schulen gemessen, die nach 2 Jahren wiederholt werden. Im Jahr 2022 wurden Messungen in 5 Schulen (Zwei Primar-, zwei Sekundarschulen, ein Gymnasium) durchgeführt. In jeder Schule werden mindestens drei verschiedene Messsituationen für 10 bis 15 Minuten während der Schulzeit gemessen:

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

Die Messungen werden nicht in den Klassenzimmern durchgeführt, um den Schulbetrieb nicht zu stören. 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» [4]).

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	11
Radio/TV	Bis 10 kW	100	5	0
	>10 bis 50 kW	500	3	0
	50 bis 200 kW	2'000	3	1
Strom	Höchstspannungsleitungen 220/380 kV	200	7	4
	Hochspannungsleitungen 36-150kV	100	7	1
	Hochspannungsleitungen 1-36kV	50	5	0
	Niederspannungsleitungen 240/400V	20	3	0
	Unterwerke	200	2	0
Trafostationen	20	3	1	
Eisenbahn	Einspurig	50	7	3
	Zweispurig	100	11	3
	Tunnel einspurig	50	3	1
	Tunnel zweispurig	100	4	0
	Tram	20	5	1
Total			100	26

*) total bis inkl. Q1 / 2023

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 2023 wurden 31 SPOT-Messungen an 26 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 total angestrebte Anzahl Messungen, um eine repräsentative Stichprobe der Wohnsituation der Schweizer Bevölkerung zu erreichen (orange):

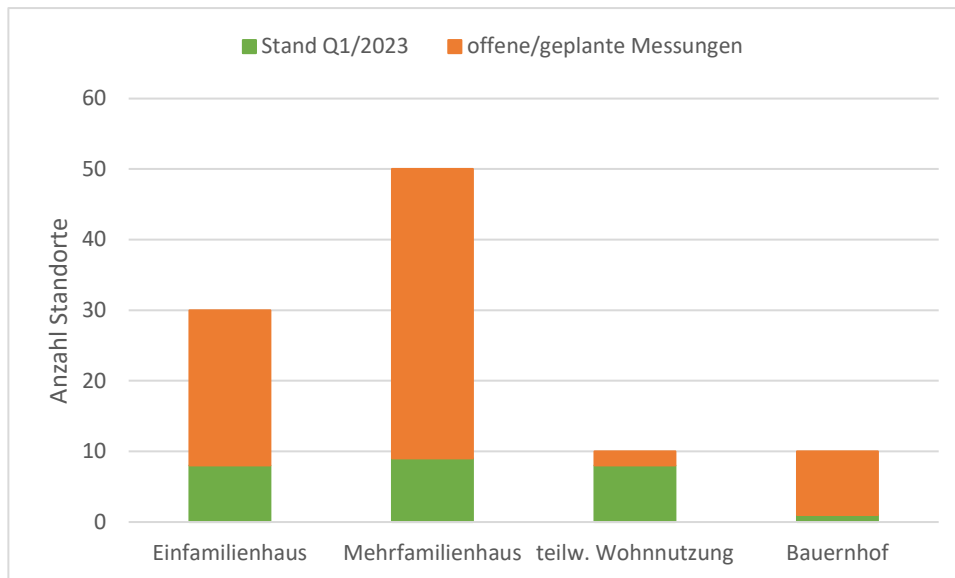


Abbildung 5: Aufteilung der Spotmesspunkte nach Gebäudetypen und Messstand: bereits durchgeführt (grün), noch offen bzw. geplant (orange)

Übersicht der Spotmessungen (Stand: März 2023)

Spotmessungen

- bis März 2023 gemessen
- nach März 2023 geplant

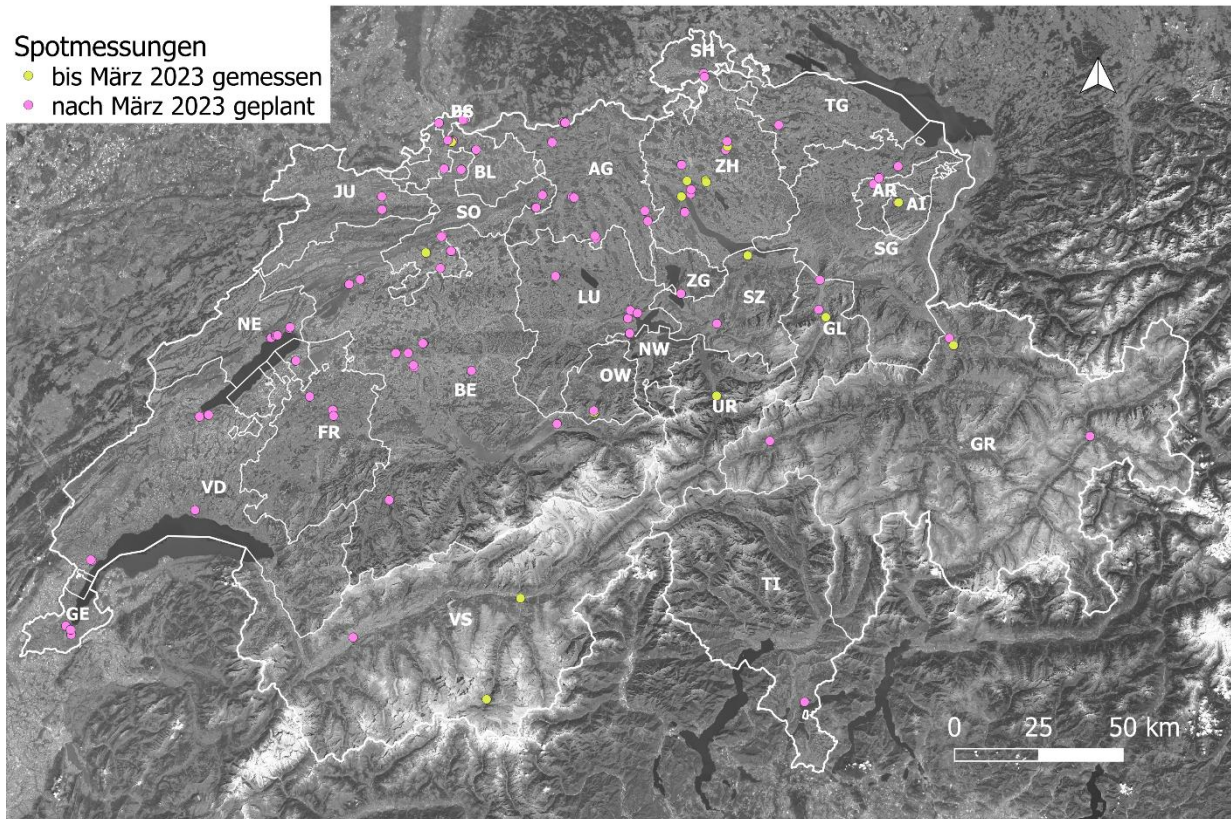


Abbildung 6: Die Verteilung der 100 Standorte der Spotmessungen, die zwischen 2021 und 2025 in der ganzen Schweiz gemessen werden, wobei die vor 2023 gemessenen Standorte in Gelb und die nach 2023 gemessenen Standorte in Rosa dargestellt sind. Detaillierte Informationen zu den Standorten und zum Gebäudetyp der bis zum Auswertungszeitpunkt vorhandenen Daten können Tabelle 41 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 Quellsituationen abgedeckt: Die Standorte in Deitingen und Aarau zeichnen sich durch viele nahe HF-Quellen aus, die Standorte in Allschwil und Zürich sind im Einflussbereich von TV/Radioantennen mit grosser Leistung. Bei den Standorten in Allschwil, Zürich und Aarau befinden sich öffentliche Bereiche und OMEN in direkter Umgebung. Zudem liegen die fünf Standorte sowohl in Gebieten mit sehr hoher Bevölkerungsdichte als auch in dünn besiedelten Gebieten.

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

Übersicht der stationäre Dauermessungen

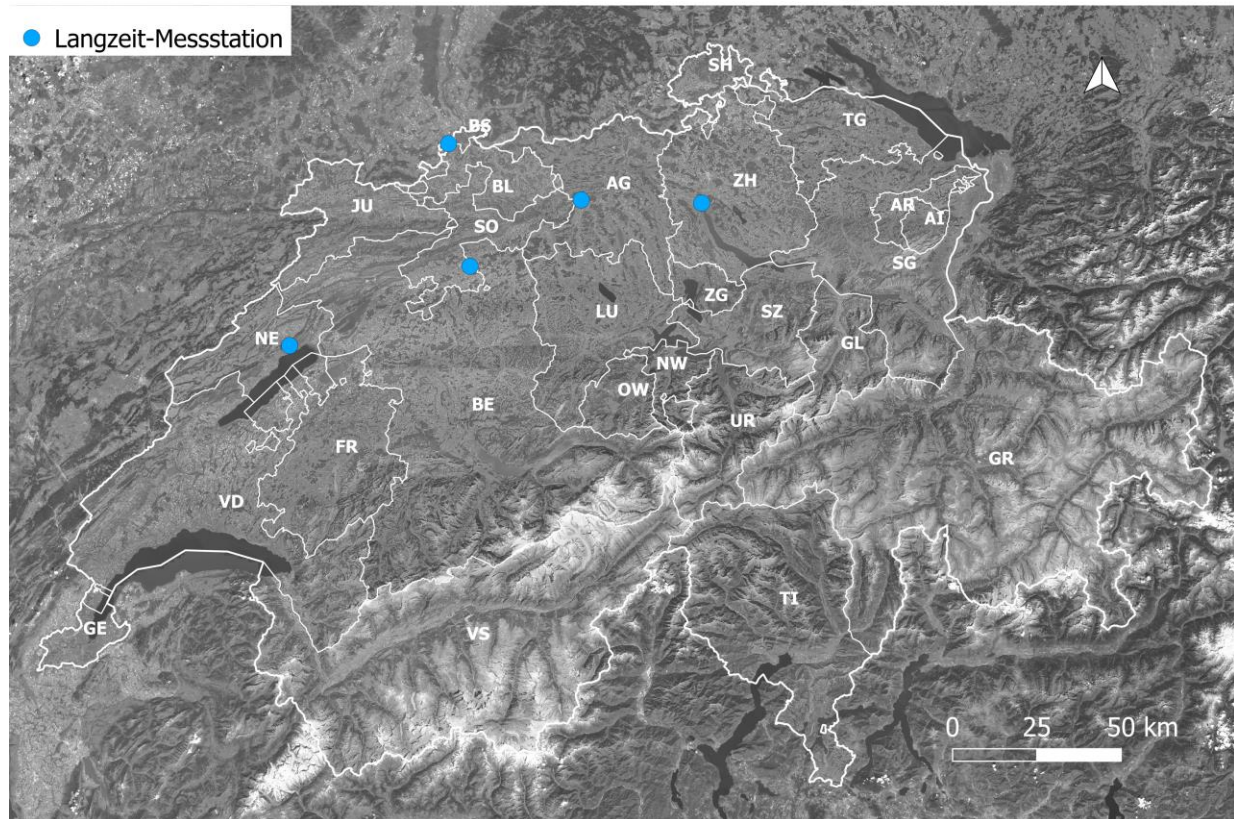


Abbildung 7: Karte der Schweiz mit den 5 Messorten (blaue Punkte) für die stationäre Dauermessungen. Quelle Hintergrundkarte: Swisstopo, <https://wmts.geo.admin.ch>

Tabelle 8: Standorte für die Stationären Dauermessungen.

Messtandort	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 Messtandort 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 : «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.

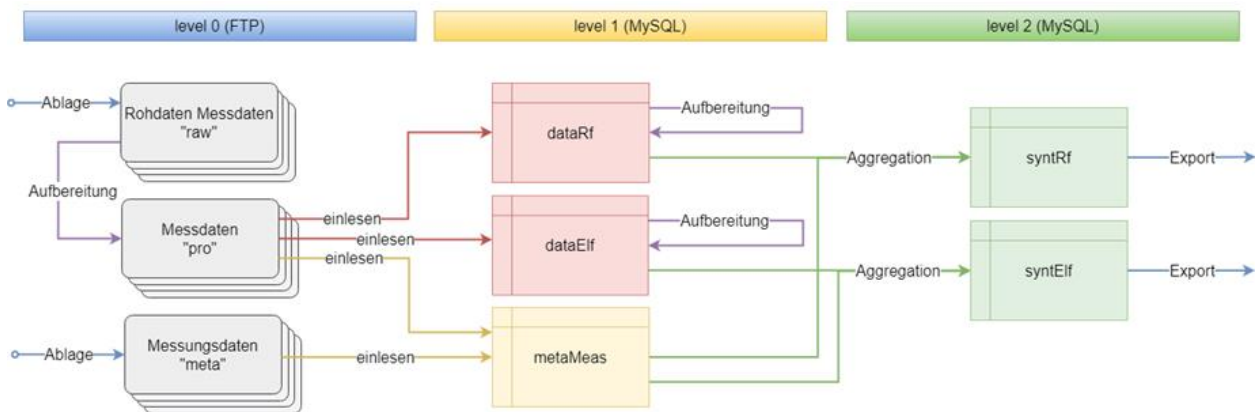


Abbildung 8: Vereinfachtes Schema der Datenbankstruktur

2.5.2 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung und Analyse der Routen- und Spotmessungen ist 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 [5] 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 dem Frequenzband Nummer f steht;
- $E_{res,i}$ für die Resultierende der elektrischen Feldstärke am Punkt i steht.

¹ Es sei erwähnt, dass diese Form der Mittelwertbildung nur für Effektivwerte (RMS) physikalisch zutreffend ist. Zur Vereinfachung der Darstellung werden trotzdem im Folgenden mit der gleichen Methodik auch Summen bzw. Mittelwerte von Peak-Werten gebildet. Die Peak-Werte verschiedener Frequenzen treten aber während eines Messintervalls im Allgemeinen zu verschiedenen Zeitpunkten auf. Das bedeutet einerseits, dass die Summe der Peak-Werte für verschiedene Frequenzen zu einer Überschätzung der ausgewiesenen Peak-Werte führt. Andererseits ist zu beachten, dass während einem Messintervall 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).

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

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

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

wobei

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

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;
- $prop_{HF\ Quelle}$ der durchschnittliche Beitrag der NF-Frequenzgruppe zur gesamten magne-tischen Flussdichte in einer Messumgebung ist;

Zusätzlich zu den deskriptiven Analysen pro Messumgebungstyp/Primärquelle, wurde auch für jede ein-zelne 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 diesem Kapitel werden die Messungen in 150 Mikroumgebungen, an öffentlichen Orten und in Verkehrsmitteln im Jahr 2022 analysiert. Ein allgemeiner Überblick wird für die HF- und NF-Expositionsmessungen gegeben, die alle durchgeführten Messungen repräsentieren. Eine detailliertere Analyse ausgewählter spezifischer Orte (Zug nach Belegung, Schulen) wird für die HF- und NF-Messungen gegeben. Anschliessend wird ein Vergleich aller Messungen mit den Immissionsgrenzwerten (IGW) durchgeführt.

3.1.1 Allgemeiner Überblick - HF-Exposition

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte bzw. Peak-Werte pro Messumgebungstyp. 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: 0.29 V/m, Peak: 1.71 V/m) gemessen, gefolgt von urbanen Stadtzentren (RMS: 0.24 V/m, Peak: 1.21 V/m) und den urbanen zentralen Wohngebieten (RMS: 0.20 V/m, Peak: 1.10 V/m). Die Medianwerte nehmen mit abnehmender Urbanisierung ab. Die niedrigsten Medianwerte wurden in den ländlichen Stadtzentren (RMS: 0.08 V/m, Peak: 0.30 V/m) und in den Naturgebieten (RMS: 0.07 V/m, Peak: 0.22 V/m) gemessen. In öffentlichen Bereichen sind die Medianwerte an Tramhaltestellen (RMS: 0.38 V/m, Peak: 1.96 V/m) und Bushaltestellen (RMS: 0.35 V/m, Peak: 1.83 V/m) am höchsten, u.a. weil sich diese Orte im Freien befinden. Die Medianwerte in Supermärkten (RMS: 0.06 V/m, Peak: 0.46 V/m) und Bibliotheken (RMS: 0.05 V/m, Peak: 0.23 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: 0.24-0.29 V/m, Peak: 1.50-1.58 V/m).

Der grösste Anteil der HF-EMF Quellen entfällt in den meisten Messumgebungstypen auf den Downlink (RMS: 39-96%, Peak: 62-94%). Der Uplink hat einen relativ hohen Anteil in der Metro (RMS: 67%, Peak: 67%) und Zügen (RMS: 35%, Peak: 29%). Der Beitrag von WLAN war in der Metro (RMS: 22%, Peak: 24%) und der Bibliothek (RMS: 23%, Peak: 89%) am höchsten, mit noch höheren Anteilen bei Peak-Werten in der Bibliothek. Time Division Duplex (TDD), im Zusammenhang mit 5G, hat im Allgemeinen einen relativ geringen Beitrag in allen Mikroumgebungen. Der höchste TDD-Beitrag wurde in Bussen, Trams und Zügen festgestellt (RMS: <6%, Peak: 19-27%), während der Anteil für Peak-Werte höher ist, was die höhere Dynamik der 5G-Mobilfunktechnologie widerspiegelt. DECT (Schnurlose Telefone) sind in allen Messumgebungen vernachlässigbar (<1%), ausser in urbanen Stadtzentren (RMS: 12%, Peak: 0%) und Supermärkten (RMS: 11%, Peak: 10%). Der Rundfunk, hauptsächlich Digital Audio Broadcasting (DAB) und Frequenzmodulation (FM), dominiert in ländlichen Stadtzentren (RMS: 48%, Peak: 26%) - hier allerdings aufgrund des geringen Beitrags der Downlink-Exposition - und in landwirtschaftlichen Gebieten (RMS: 97%, Peak: 95%). Der hohe Beitrag des Rundfunks in landwirtschaftlichen Gebieten ist auf Gebiete mit hoher Rundfunkbelastung zurückzuführen, die am Ende dieses Kapitels näher beschrieben werden.

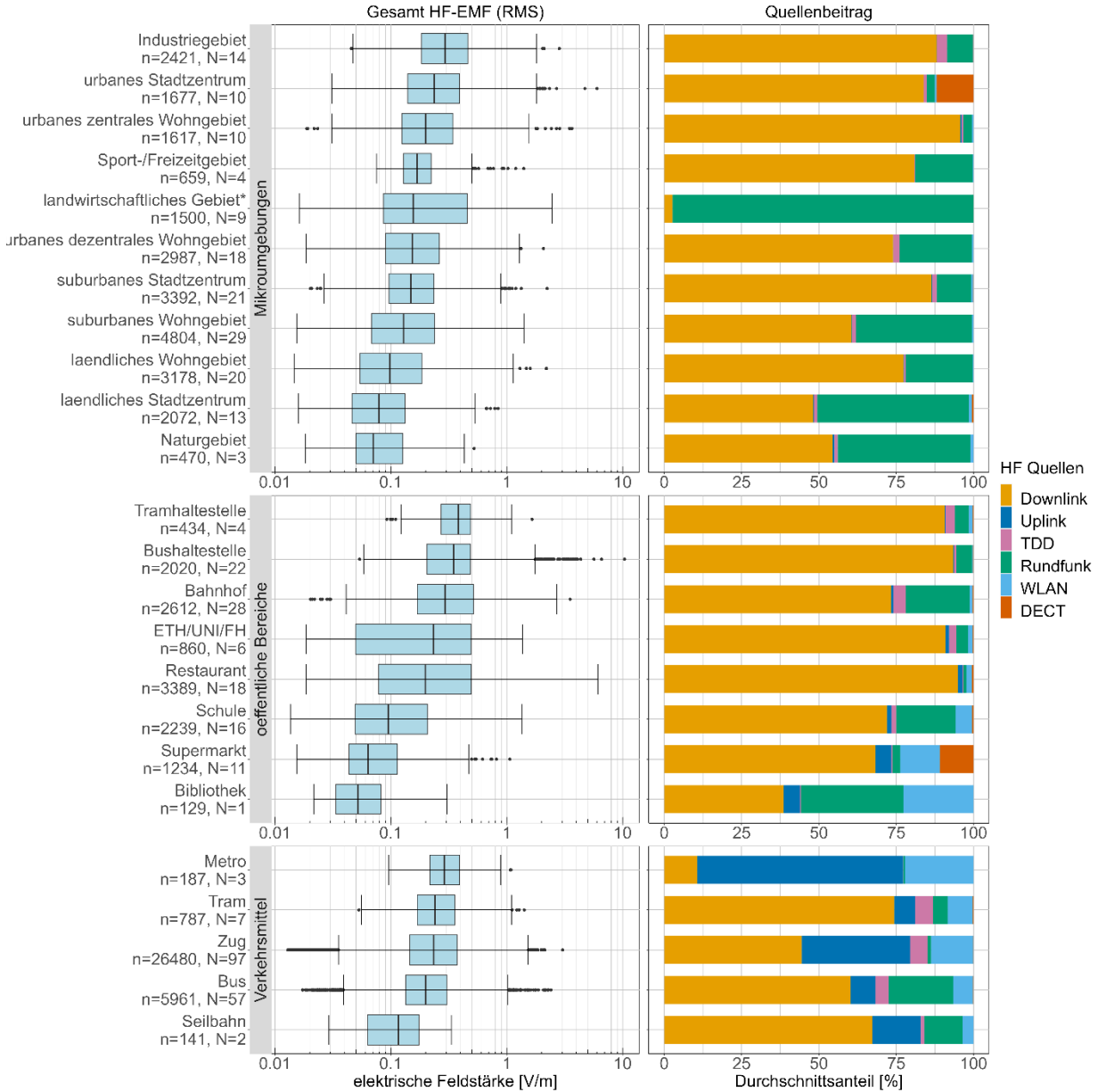


Abbildung 9: Links: Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte im Jahr 2022 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche Beitrag 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 14, bzw. Tabelle 15 aufgeführt.

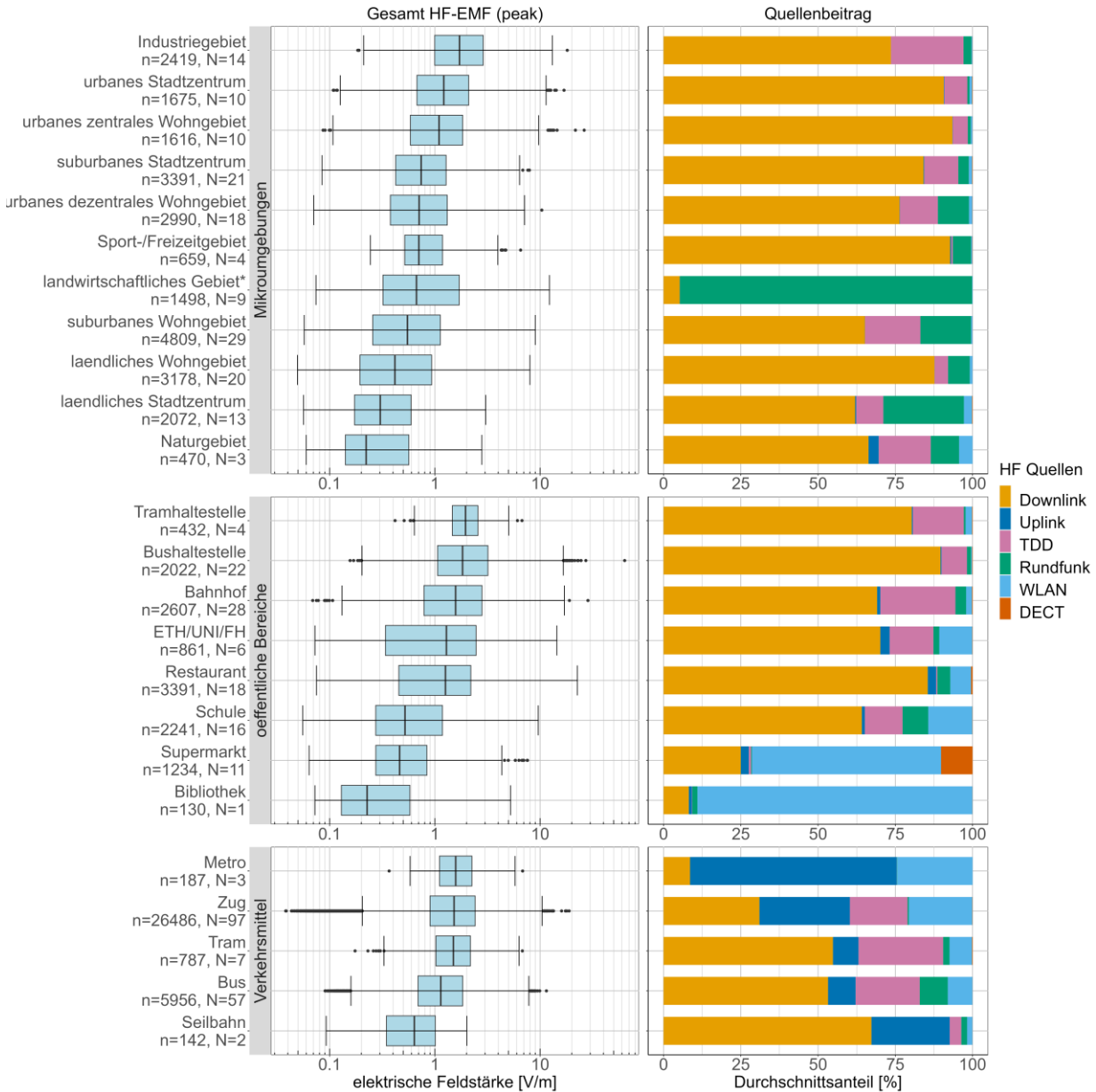


Abbildung 10: Links: Verteilung der Peak HF-EMF Messwerte im Jahr 2022 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche Beitrag 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 16 bzw. Tabelle 17 aufgeführt.

Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen die Verteilungen der mittleren Belastung der gesamten HF-Exposition für die RMS- bzw. Peak-Werte pro Messumgebungstyp. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten RMS-Werts pro einzelne Messumgebung. Der Mittelwert der RMS-Werte (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet.

In den Mikroumgebungen wurden die höchsten Mittelwerte der mittleren Belastung in den urbanen Stadtzentren (RMS: 0.46 V/m, Peak: 2.52 V/m) gemessen. Die maximale mittlere Belastung findet sich in einem landwirtschaftlichen Gebiet mit einem Radiofunksender (RMS: 1.26 V/m, Peak: 5.71 V/m). Die Messungen in landwirtschaftlichen Gebieten werden am Ende dieses Kapitels detailliert beschrieben. In öffentlichen Bereichen wurde der höchste Mittelwert der mittleren Belastung an Bushaltestellen (RMS: 0.54 V/m, Peak: 2.52 V/m) gemessen. Die maximale mittlere Belastung findet sich auch in einer Bushaltestelle (RMS: 2.09 V/m, Peak: 12.38 V/m). Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln ist die mittlere Belastung am höchsten in Metros (RMS: 0.37 V/m, Peak: 2.02 V/m) und Zügen (RMS: 0.34 V/m, Peak: 2.10 V/m). Im Allgemeinen ist das gleiche Muster der Expositionsfolge wie in Abbildung 9 und in Abbildung 10 zu beobachten, obwohl sich die Methode der Berechnung unterscheidet.

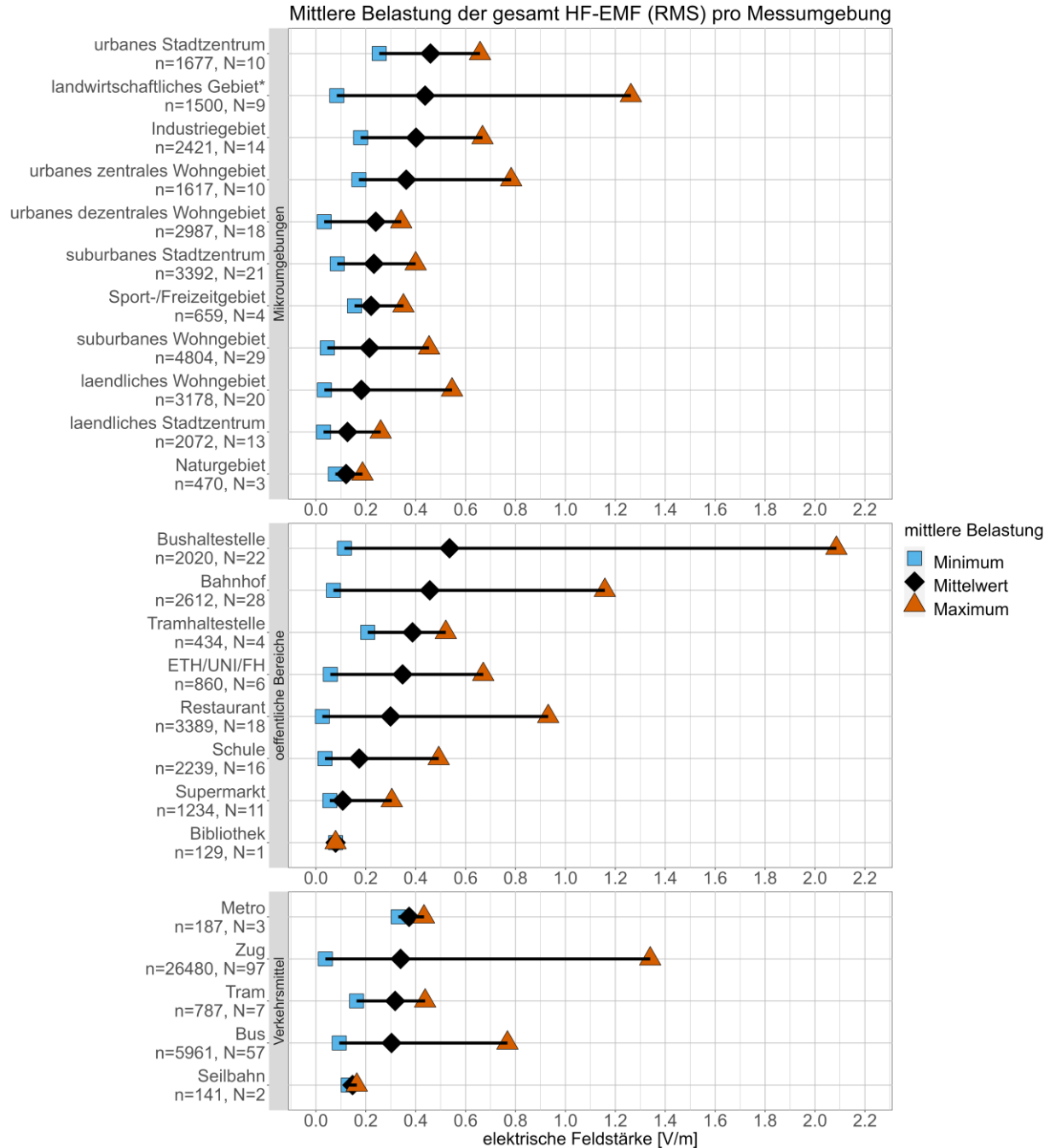


Abbildung 11: Bereich der mittleren Belastung der RMS HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert des RMS-Werts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten RMS-Wert pro einzelne Messumgebung. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Daten sind in Tabelle 18 aufgeführt.

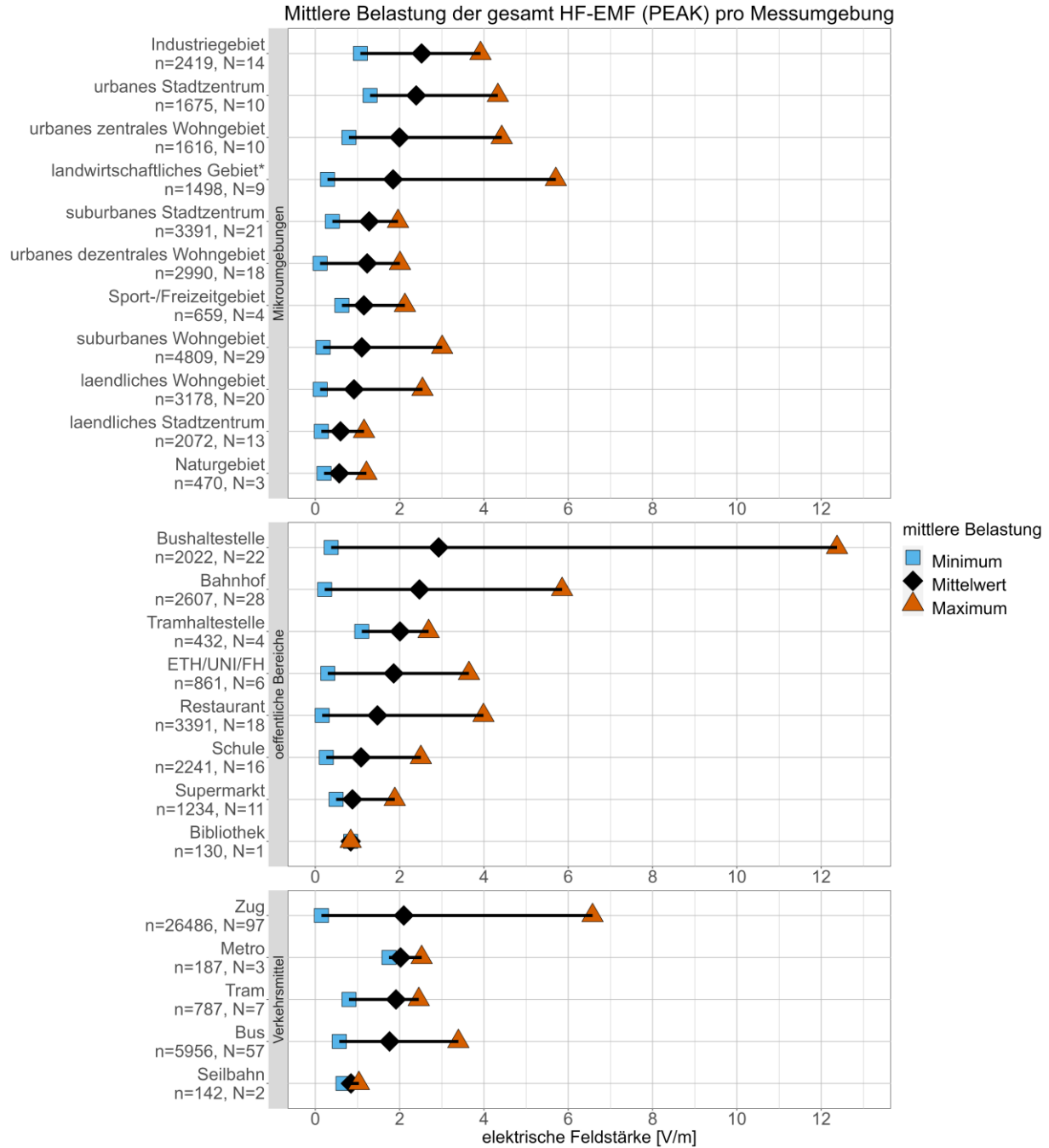


Abbildung 12: Bereich der mittleren Belastung der Peak HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert des RMS-Werts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils den tiefsten und höchsten RMS-Wert pro einzelne Messumgebung. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die Daten sind in Tabelle 19 aufgefuehrt.

*Landwirtschaftliches Gebiet: Von den neun gemessenen landwirtschaftlichen Gebieten wurden drei Gebiete am Boden bei einem Rundfunksender mit einer Leistung zwischen 300 W und 181 kW gemessen. Im Anhang, Tabellen 20,21, und 22, wurden diese drei Gebiete von den sechs landwirtschaftlichen Gebieten ohne Rundfunksender unterschieden. Alle statistischen Werte sind für landwirtschaftliche Gebiete mit einem Rundfunksender um das Zwei- bis Achtfache grösser als 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 (Tabelle 20). Der Beitrag zum Rundfunk (RMS) in landwirtschaftlichen Gebieten beträgt ohne Antenne 42%, bzw. 100% mit Antenne (Tabelle 21). 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 (Tabelle 22).

3.1.2 Allgemeiner Überblick - NF-Exposition

Abbildung 13 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte pro Messumgebungstyp. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der drei Hauptquellen niederfrequenter Strahlung eingefärbt: Eisenbahnstrom (gelb), Stromversorgung (pink) und Tram-Rippelstrom (violett).

In den Mikroumgebungen wurden die höchsten Medianwerte in den urbanen Stadtzentren (0.19 μ T) gemessen, gefolgt von urbanen zentralen Wohngebieten (0.18 μ T) und Industriegebieten (0.14 μ T). Die Medianwerte nehmen tendenziell mit abnehmender Urbanisierung ab. Die niedrigsten Medianwerte wurden in den landwirtschaftlichen Gebieten und Sport-/Freizeit Gebieten (0.03 μ T) gemessen. In öffentlichen Bereichen sind die Medianwerte an Bahnhöfen (0.39 μ T) und Tramhaltestellen (0.20 μ T) am höchsten, während die Medianwerte in Bibliotheken und Schulen (0.03 μ T) relativ niedrig sind. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln sind die Medianwerte in Zügen am höchsten (0.44 μ T).

Der Beitrag der Stromversorgung ist in allen Mikroumgebungen (60-93%) mit Ausnahme von Naturgebieten (8%) dominant. Der Beitrag des Eisenbahnstroms ist in Zügen (100%) und Bahnhöfen (99%) aufgrund der Nähe zu Bahnstromleitungen am höchsten. Der Anteil des Tram-Rippelstroms beträgt 28% in Trams und 41% an Tramhaltestellen.

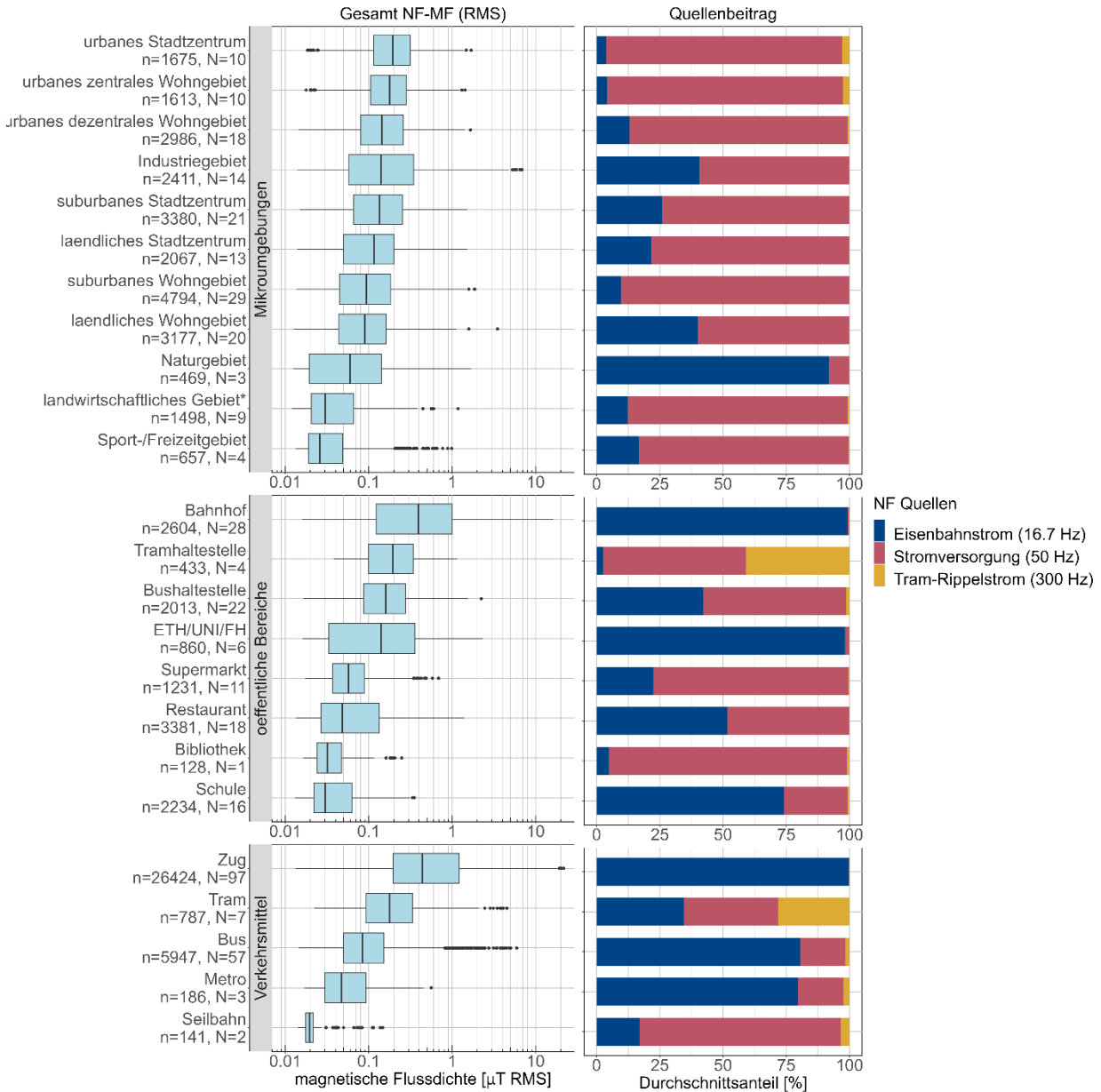


Abbildung 13: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte im Jahr 2022 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der 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 23 bzw. Tabelle 24 aufgeführt.

Abbildung 14 zeigt die Verteilungen der mittleren Belastung der gesamten NF-Exposition pro Messumgebungstyp. 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.

In den Mikroumgebungen wurden die mittlere Belastung in den Industriegebieten ($0.34 \mu\text{T}$) gemessen. Die maximale mittlere Belastung findet sich auch in einem Industriegebiet ($1.48 \mu\text{T}$) in der Nähe eines Kraftwerks. In öffentlichen Bereichen wurde die höchste mittlere Belastung an Bahnhöfen ($0.34 \mu\text{T}$) gemessen, wobei die maximale mittlere Belastung bis $6.26 \mu\text{T}$ reicht. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln ist die mittlere Belastung in Zügen ($1.23 \mu\text{T}$) am höchsten und die maximale mittlere Belastung erstreckt sich bis $8.99 \mu\text{T}$. Im Allgemeinen ist das gleiche Muster der Expositionsfolge wie in Abbildung 13 zu beobachten, obwohl sich die Methode der Berechnung unterscheidet.

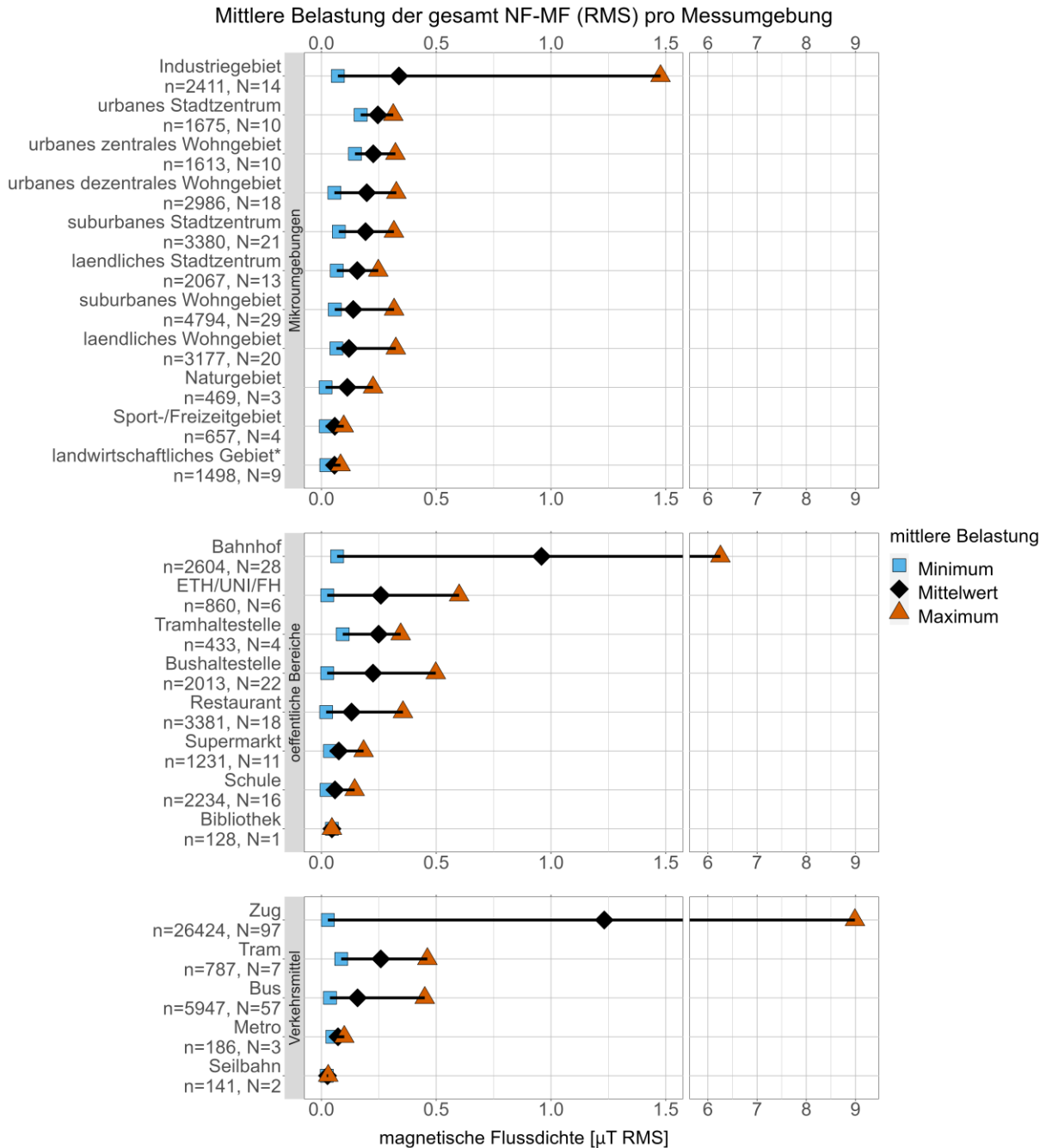


Abbildung 14: Bereich der mittleren Belastung der NF-MF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (schwarze Raute) wird nach Gleichung (10) berechnet. Das Minimum (blaues Quadrat) und Maximum (rotes Dreieck) zeigen jeweils der tiefsten und höchsten arithmetischen Mittelwerte pro einzelne Messumgebung. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die x-Achse ist zwischen 1.5 µT und 6.0 µT abgeschnitten, um die Maximalwerte sichtbar zu machen. Die Daten sind in Tabelle 25 aufgeführt.

3.1.3 Zusätzliche Analysen in Zügen - HF- und NF-Exposition

Eine zusätzliche Analyse wurde für die 2022 in Zügen durchgeführten Messungen erstellt, bei denen die Werte nach Belegung analysiert wurden: voll, mittel und tief.

Abbildung 15 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der HF-Exposition der RMS-Werte (oben) bzw. Peak-Werte (unten) nach Zugbelegung. 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). Es wird ersichtlich, dass bei hoher Belegung die HF-Exposition am höchsten ist (Median RMS: 0.44 V/m, Peak: 3.01 V/m). In diesem Fall trägt der Uplink, welcher mit der Übertragung von drahtlosen Geräten von Passagieren im Zusammenhang steht, zu 54% an der Belegung «hoch» bei. Für Peak Werte trägt TDD zu 34% an der Belegung «hoch» bei. Bei mittlerer und tiefer Belegung betragen die RMS-Mediane 0.31 V/m bzw. 0.17 V/m.

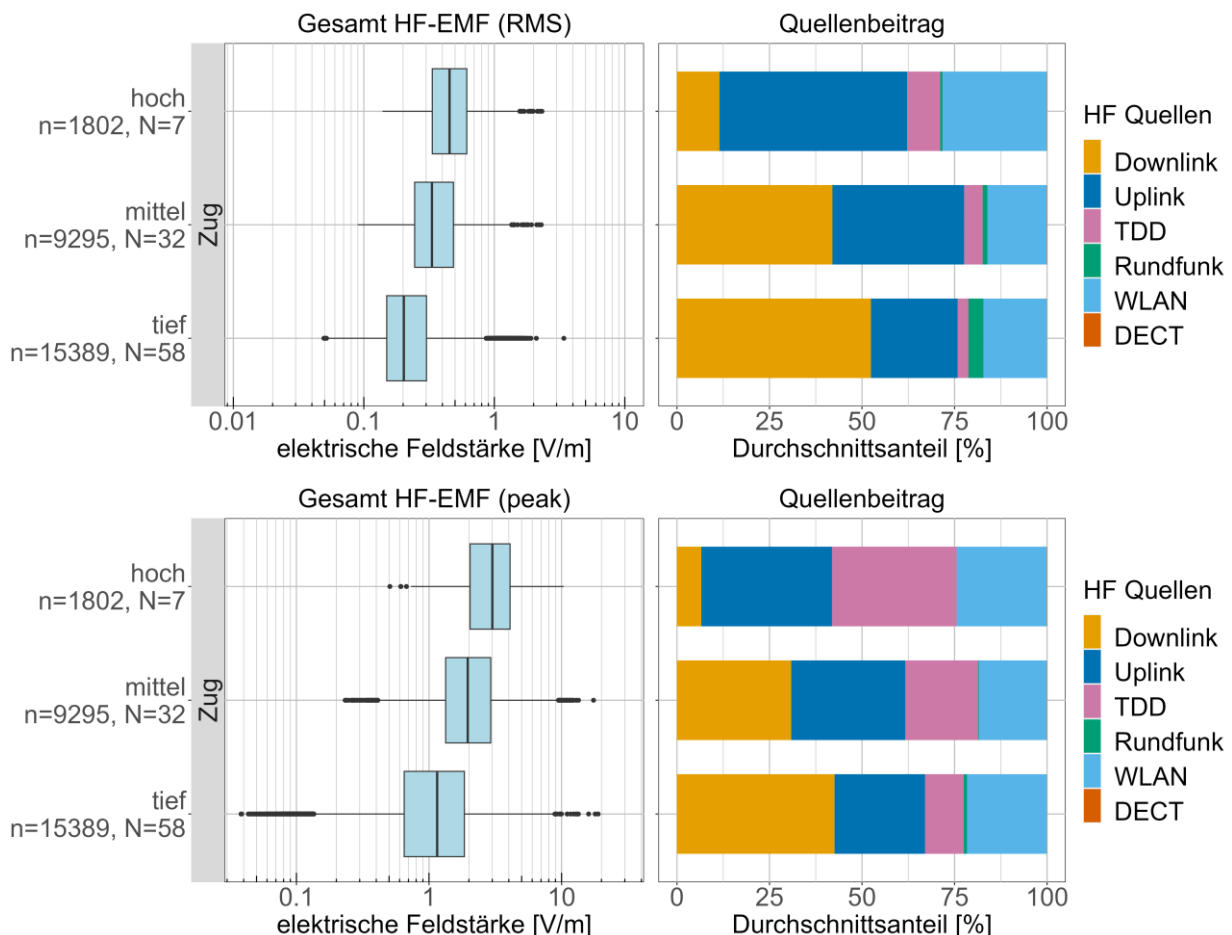


Abbildung 15: Links: Verteilung der RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF Messwerte nach Zugbelegung im Jahr 2022. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der Quellen für jeden Messumgebungstyp. Die folgenden Frequenzbandgruppen werden berücksichtigt: Downlink, Uplink, Time Division Duplexing (TDD), Rundfunk, WLAN und schnurlose Telefone (DECT). „n“ bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. „N“ bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 26 bzw. Tabelle 27 aufgeführt.

Abbildung 16 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der NF-Exposition der RMS-Werte pro Messumgebungstyp. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der drei Hauptquellen niederfrequenter Strahlung eingefärbt: Eisenbahnstrom (gelb), Stromversorgung (pink) und Tram-Rippelstrom (violett). Der Median ist am höchsten, wenn die Belegung tief ist ($0.51 \mu\text{T}$) und ähnlich, wenn die Belegung mittel oder hoch ist ($0.37 \mu\text{T}$). Wenig überraschend trägt der Zug zu 100% zur Belastung bei.

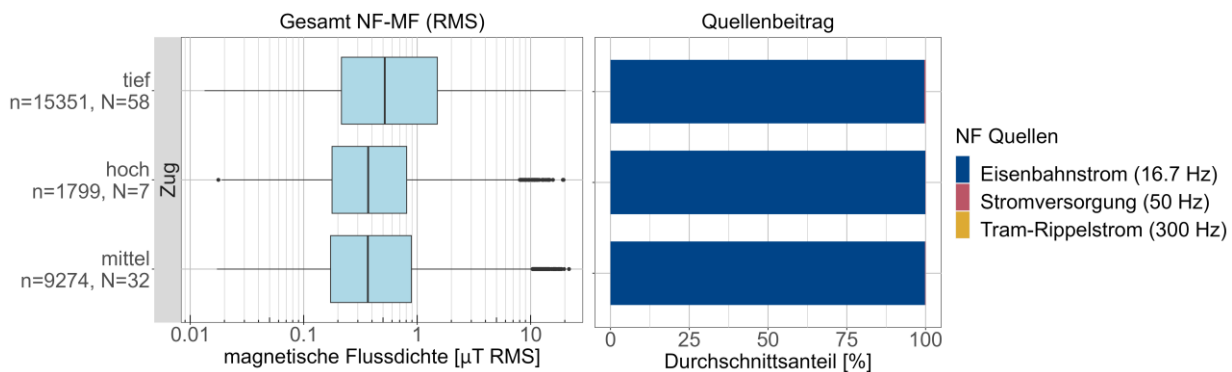


Abbildung 16: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte im Jahr 2022 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands ($1.5 \cdot \text{IQR}$) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche 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 28 bzw. Tabelle 29 aufgeführt.

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

Eine weitere zusätzliche Analyse wurde im Rahmen der 2022 absolvierten Messungen in zwei Primar- und zwei Sekundarschulen und einem Gymnasium durchgeführt, in denen die HF- und NF-Exposition auf dem Pausenplatz, im Freien oder im Gebäude, mit und ohne Schüler*innen, sowie auch in den Korridoren gemessen wurde.

Abbildung 17 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 zeit sich in den Aussenbereichen («Pausenplatz – aussen») eine leicht höhere Belastung als im Gebäudeinneren («Pausenplatz – innen», «Korridor»). Zudem ist die Belastung auf vollen Pausenplätzen gegenüber derjenigen auf leeren Pausenplätzen leicht erhöht (z.B. «Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen»: RMS: 0.20 V/m , Peak: 1.12 V/m) | «Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen»: RMS: 0.10 V/m , Peak: 0.52 V/m). Auf den «Pausenplätzen – aussen» stammen die grössten Strahlungsbeiträge von Mobilfunkanlagen (Downlink-Beitrag: RMS: 73 -78%, Peak: 69 -79%), gefolgt von Rundfunkanlagen (RMS: 18 - 21%, Peak: 2%). Auf den «Pausenplätzen – innen» stammen die grössten Strahlungsbeiträge von WLAN (RMS: 69 - 90%, Peak: 96 - 100%), allerdings auf tiefem Niveau, da die mittlere Belastung im Gebäudeinneren insgesamt gering ist (RMS: $0.04 - 0.13 \text{ V/m}$). Während der Pausen im Gebäudeinneren (d.h. «Pausenplatz innen – mit Schüler*innen) tragen die Schüler*innen durch die aktive Nutzung ihrer Mobiltelefone leicht zur Erhöhung der Exposition bei (Uplink-Beitrag: RMS: 30%, Peak: 4%).

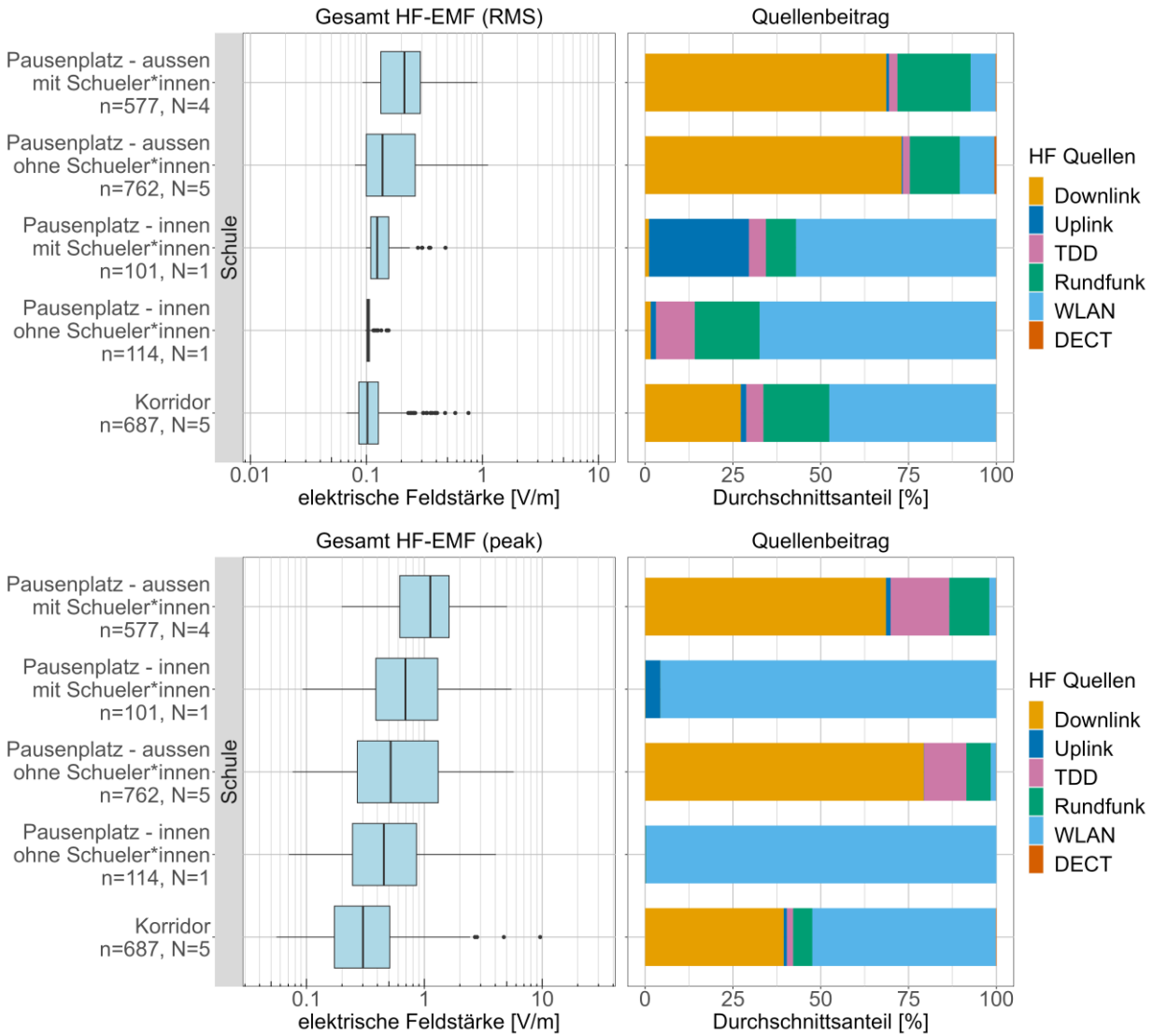


Abbildung 17: Links: Verteilung der RMS (oben) und Peak (unten) HF-EMF Messwerte in Schulen im Jahr 2022. Die Mittellinie, die Kasten, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche 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 30, bzw. Tabelle 31 aufgeführt.

Abbildung 18 zeigt auf der linken Seite als Boxplot die Verteilung der RMS-Werte pro Messumgebungstyp. Auf der rechten Seite sind die mittleren relativen Beiträge der drei Hauptquellen niederfrequenter Strahlung eingefärbt: Eisenbahnstrom (gelb), Stromversorgung (pink) und Tram-Rippelstrom (violett). Generell sind die Medianwerte der NF-MF-Exposition in Schulen die niedrigsten aller gemessenen öffentlichen Bereiche. Die höchsten Medianwerte finden sich auf dem «Pausenplatz - innen mit Schüler*innen» (0.05 μ T), aber das hängt vom Ort der gemessenen Schule ab und nicht davon, ob Schüler*innen drinnen oder draussen sind. Die Medianwerte der NF-MF-Expositionen liegen alle zwischen 0.03 und 0.05 μ T.

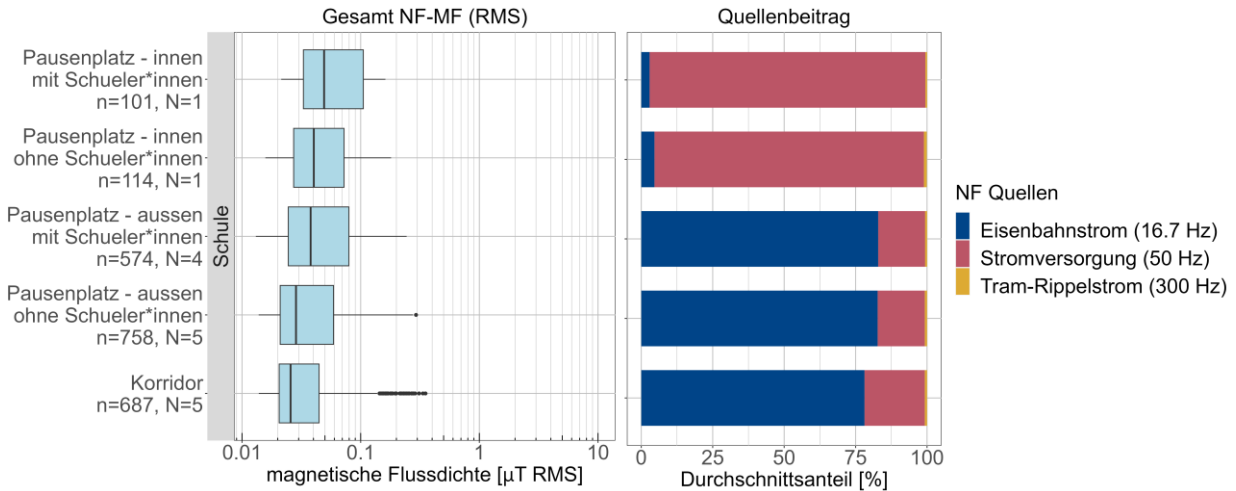


Abbildung 18: Links: Verteilung der NF-MF Messwerte im Jahr 2022 pro Messumgebungstyp. Die Mittellinie, die Kästen, die „Whisker“ und die Punkte zeigen den Median, das 25. und 75. Perzentil, das 1.5-Fache des Interquartilsabstands (1.5*IQR) bzw. die Ausreisser. Rechts: der durchschnittliche Beitrag der 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 Datenpunkte pro Messumgebungstyp. Die statistischen Daten und Beiträge der Quellen sind in Tabelle 32 bzw. Tabelle 33 aufgeführt.

3.1.5 Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts (IGW)

Abbildung 19 zeigt die Ausschöpfung des Immissionsgrenzwertes (IGW) für die NF-Werte (blau) und die HF-Werte (rot), 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%.

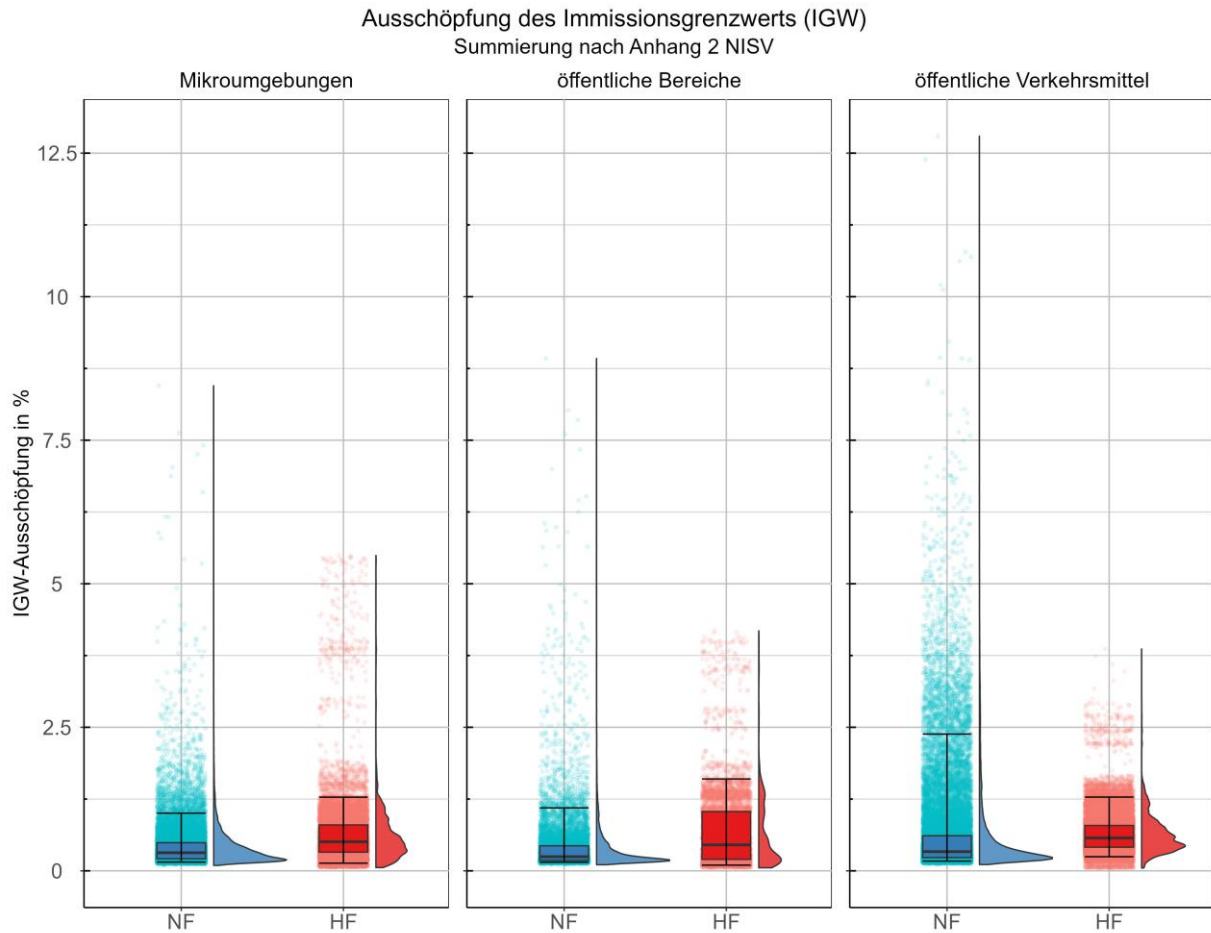


Abbildung 19: Statistische Verteilung der Ausschöpfung des Immissionsgrenzwerts über alle Messpunkte. Die verschiedenen Frequenzen wurden nach der Summierungsvorschrift (NISV Anhang 2) addiert. In den Diagrammen sind links die einzelnen Messwerte (bei NF) bzw. die einzelnen 6-Minuten-Mittelwerte (bei HF) als Punkte dargestellt (Jitterplot). In der überlagerten Boxplot-Darstellung zeigt die Mittellinie den Median, die Kasten 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 und liegt bei 173%. Er wurde aus der weiteren Datenanalyse und obiger Graphik ausgeschlossen und wird als Ausreisser gehandhabt und näher untersucht. 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 wird unterdessen einer nicht identifizierten NF-Quelle oder einem Mess-Artefakt zugeschrieben.

3.2 Spot- resp. Wohnungsmessungen

3.2.1 HF-Exposition

Die Verteilung der RMS HF-EMF Messwerte für alle Wohnungen ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Teilmessungen, bestehend aus Langzeitmessung, mobiler Messung und Kurzzeitmessung, werden dabei einzeln ausgewertet. Zudem wurden separate Analysen für Standorte mit und ohne Primärquelle gemacht. Standorte in der Nähe einer Primärquelle zeigen typische Expositionen in der Nähe der entsprechenden Quelle. Standort ohne Primärquelle entsprechen einer repräsentativen Verteilung der NIS-Expositionssituationen in der Schweiz. Im rechten Teil der Grafik ist die prozentuale Zusammensetzung der Quellenbeiträge an der mittleren Gesamtfeldstärke dargestellt.

Bei Wohnungen in der Nähe von Radio/TV-Sendern liegt nur ein Datensatz vor ($N = 1$). Dies schränkt die Aussagekraft der Verteilung stark ein. Es ist bei dieser Kategorie noch nicht möglich, auf eine für die Quelle charakteristische Exposition zu schliessen. Die kleine Anzahl an Datensätzen schlägt sich in kleinen Werten für den Interquartilsabstand (IQR) nieder.

Bei den Kurzzeitmessungen weisen Messstandorte in der Nähe von Mobilfunkanlagen einen Medianwert der elektrischen Gesamtfeldstärke von 0.16 V/m auf. Die prozentuale Zusammensetzung der elektrischen Gesamtfeldstärke gliedert sich hauptsächlich in folgende Dienstgruppen: Downlink: 78%, Rundfunk: 9%, WLAN: 9%. Ein Messstandort in der Nähe eines Radio/TV Senders weist den grössten Medianwert der elektrischen Gesamtfeldstärke auf (0.26 V/m). Dort wurden nach absteigender Grösse geordnet folgende Quellenbeiträge ermittelt: Rundfunk: 51%, WLAN: 45%. Für Liegenschaften, welche nicht wegen der Nähe zu einer vorgenannten Quellen ausgewählt wurden, beträgt der Medianwert 0.13 V/m. Bezüglich des elektrischen Feldes kann die Standortauswahl somit als zufällig angenommen werden. Feldbeiträge resultieren hauptsächlich aus folgenden Gruppen: WLAN: 36%, Rundfunk: 27%, Downlink: 26% und DECT: 10%.

Bei den mobilen Messungen weisen Standorte in der Nähe von Mobilfunkantennen einen Medianwert von 0.13 V/m auf, was zugleich der grösste Wert dieses Teilmessungstyps ist. Die zwei grössten Quellen in dieser Kategorie sind der Downlink mit 79% und der Rundfunk mit 13%. Für eine Messung in der Nähe von Rundfunkanlagen beträgt der Median 0.12 V/m. Die grössten Feldbeiträge entstammen den Kategorien Rundfunk mit 62% und WLAN mit 30%. Wohnungen der Kategorie «keine HF-Primärquelle» weisen einen Expositionsmedian von 0.08 V/m auf. Die grössten Quellenbeiträge sind: Downlink: 46%, Rundfunk: 31% und WLAN: 17%.

Bei den Langzeitmessungen weisen Messstandorte in der Nähe von Mobilfunkanlagen mit 0.12 V/m den grössten Median auf. Die Hauptquelle ist mit 93% der Downlink. Die Langzeitmessung an einem Standort mit Rundfunksender weist einen Median der elektrischen Gesamtfeldstärke von 0.07 V/m auf. Der Rundfunk liefert an diesem Standort mit 64% den grössten Feldstärkebeitrag, gefolgt von DECT mit 13% und WLAN mit 13%. Die Kategorie «keine HF-Primärquelle» weist einen Feldstärkemedian von 0.08 V/m auf. Der Downlink und der Rundfunk liefern die Hauptbeiträge mit 54% und 42%, respektive.

Die statistischen Kenndaten für die in Abbildung 20 dargestellten Messdaten befinden sich im Anhang, gruppiert nach den Teilmessungen (Tabelle 34 und Tabelle 35).

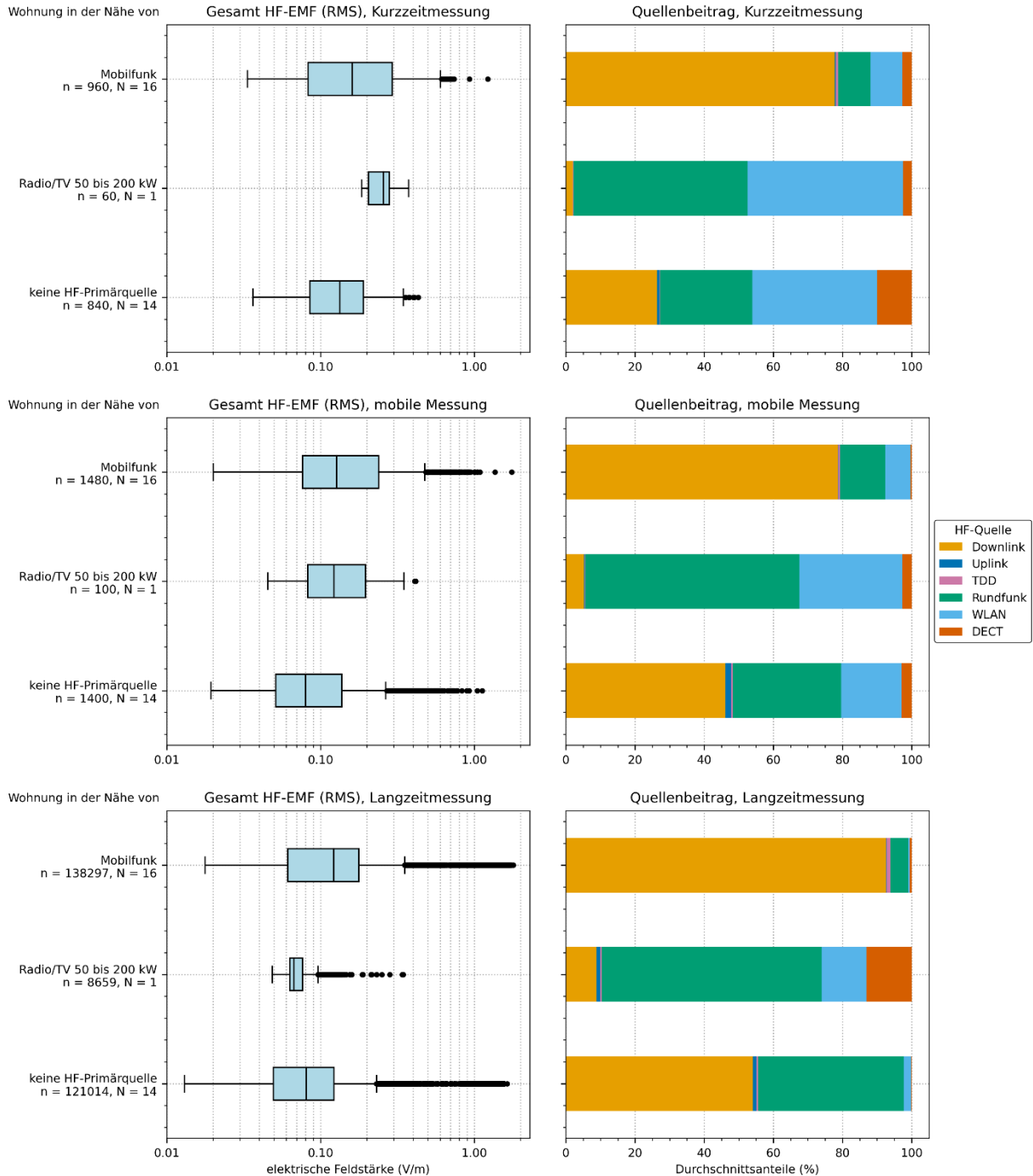


Abbildung 20: Verteilung der mit Gleichung (1) berechneten Gesamt-HF-EMF (RMS) Werte der Spotmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären HF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Für Liegenschaften, welche sich nicht in der Nähe einer der aufgeführten HF-Quellen befinden, ist die Kategorie «keine HF-Primärquelle» zu wählen. 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 Gesamtfeldstärke angegeben, siehe Gleichung (7). Es wird nach Downlink, Uplink, Time-Division-Duplex (TDD), Rundfunk, WLAN und DECT unterschieden. Die statistischen Kenndaten befinden sich in Tabelle 34 und Tabelle 35.

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Spannweite des quadratischen Mittels (RMS, siehe Gleichung (4)) der elektrischen Gesamtfeldstärke (siehe Gleichung (1)) für RMS und Peak-Messungen, gruppiert nach Primärquelle. Zusätzlich wird auch das arithmetische Mittel der RMS-Werte aller Messungen für jede Primärquellenkategorie dargestellt, siehe Gleichung (9). Gegenüber den Medianwerten aus Abbildung 20, sind die Mittelwerte der RMS-Werte zu höheren Feldstärken hin verschoben. Die Peak-Werte in Abbildung 22 liegen höher als die RMS-Werte in Abbildung 21 und geben Aufschluss über die maximalen Feldstärkespitzen, welche während der Messung aufgetreten sind. Der Datensatz für die Primärquellenkategorie «Radio/TV 50 bis 200 kW» besteht aus lediglich einer Messung. Daher kann keine Spannweite dargestellt werden und Minimum, Mittelwert und Maximum der mittleren Belastungswerte fallen zusammen. Das Muster, welches sich aufgrund der relativen Lage der Mittelwerte ergibt, ist meist ähnlich, wie jenes bei den Medianwerten in Abbildung 20.

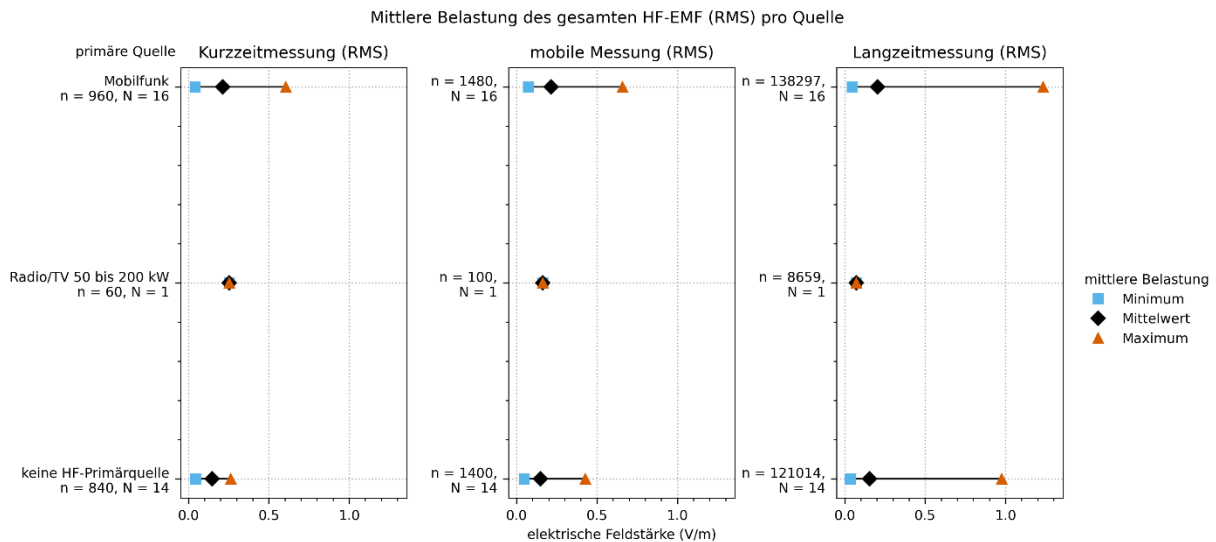


Abbildung 21: Spannweite des nach Gleichung (4) berechneten quadratischen Mittelwerts (RMS) der elektrischen Gesamtfeldstärke für jede Messung innerhalb einer Primärquellenkategorie. Für die Berechnung wurden RMS-Datenpunkte verwendet. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender RMS-Gesamtfeldstärkewerte, 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 36 des Anhangs.

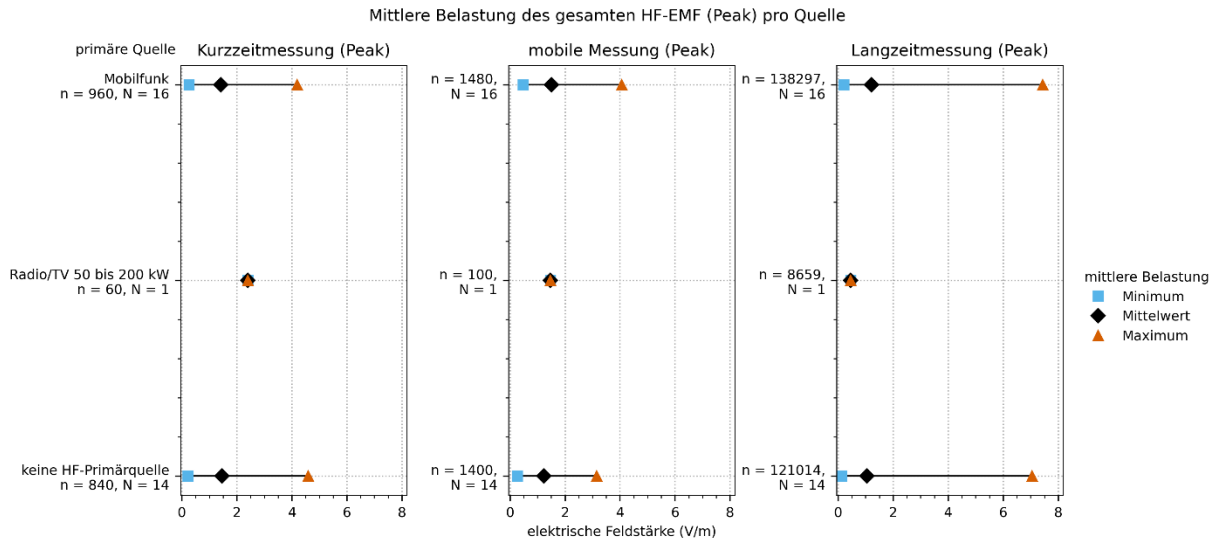


Abbildung 22: Spannweite des nach Gleichung (4) berechneten quadratischen Mittelwerts (RMS) der elektrischen Gesamtfeldstärke für jede Messung innerhalb einer Primärquellenkategorie. Für die Berechnung wurden Peak-Werte verwendet. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender RMS-Gesamtfeldstärkewerte, 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 Tabelle befinden sich in Tabelle 37 im Anhang.

3.2.2 NF- Exposition

Die Verteilung der magnetischen Gesamtflussdichte aller RMS NF-MF Messpunkte ist in Abbildung 23 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 38. Die prozentuale Zusammensetzung der Quellenbeiträge an der magnetischen Gesamtflussdichte wird in der rechten Spalte von Abbildung 23 gezeigt und die Kenndaten sind in Tabelle 39 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.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Daten für die unterschiedlichen Primärquellen des magnetischen Feldes in Abbildung 23 Messungen an einem bis drei Messstandorten entstammen und somit 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. Lediglich bei den Messungen in der Abwesenheit von NF-Primärquellen liegt eine genügend grosse Anzahl an Messungen vor um charakteristische Werte ableiten zu können.

Bei der Kurzzeitmessung liegt der Medianwert in Räumen des häufigen Aufenthalts für zweispurige Eisenbahnlinien bei 0.1 μT . Bei einspurigen Eisenbahnlinien reduziert sich der Median um die Hälfte auf 0.05 μT . Die Einzelmessung bei einem Tunnel mit einspuriger Eisenbahnlinie unter der Liegenschaft führt zum höchsten Expositionsmedian bei Bahnlinien dieser Teilmessungskategorie mit 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 drei Primärquellenkategorien

praktisch identisch. Bei der Langzeitmessung liegen die Werte nur leicht tiefer mit $0.07 \mu\text{T}$ für Messungen in der Nähe von zweispurigen Eisenbahnlinien, $0.05 \mu\text{T}$ in der Umgebung von einspurigen Eisenbahnlinien und $0.18 \mu\text{T}$ bei der Einzelmessung mit Tunnel. Bei allen drei Primärquellen 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.

Die Einzelmessung einer Wohnung in der Nähe einer Tramlinie weist einen Median von $0.04 \mu\text{T}$ für die Kurzzeitmessung auf. Für die mobile Messung beläuft sich der Median auf $0.06 \mu\text{T}$ und für die Langzeitmessung auf $0.09 \mu\text{T}$. Aus dem Balkendiagramm für die Quellenbeiträge wird ersichtlich, dass sich die Messumgebung auch in der Nähe einer Bahnlinie befindet, welche den grössten Beitrag liefert, gefolgt von Beiträgen der Stromversorgung. Besonders gross ist der Eisenbahnstromanteil mit 79% während der Langzeitmessung. Der gemessene Tramrippelstrom beträgt über alle drei Teilmessungen hinweg lediglich zwischen 3-4% bei Quellen in der Nähe von Tramlinien. Bei allen übrigen Quellen sind die Beiträge in den Frequenzbändern des Tram-Rippelstroms vernachlässigbar, was auf die Abwesenheit von Tramlinien an den Messorten hindeutet.

Bei Liegenschaften in der Nähe von 220/380 kV Freileitungen wurde der höchste Medianwert gemessen und liegt für die drei Teilmessungen zwischen 0.27 und 0.33 V/m . Die gemessenen Maximalwerte liegen zwischen 1.7 und $2.1 \mu\text{T}$. Die Verteilung wird massgeblich von einer Messung beeinflusst, bei welcher Messwerte über dem vorsorglichen Anlagegrenzwert von $1 \mu\text{T}$ der NISV festgestellt wurden. Bei allen Teilmessungen beträgt der Quellenanteil aus der Stromversorgung 100%. Die zwei Messungen in der Nähe von 36-150 kV Freileitungen resultieren in kleineren Medianwerten, als bei den Höchstspannungsleitungen. Die Medianwerte für die drei Teilmessungen liegen zwischen 0.07 und $0.09 \mu\text{T}$. Auch die Medianwerte einer Einzelmessung in der Nähe einer Trafostation liegen mit 0.07 bis $0.09 \mu\text{T}$ in einem identischen Bereich. Bei der Zusammensetzung der magnetischen Gesamtflussdichte zeichnet sich bei beiden Primärquellen ein ähnliches Bild ab. Die prozentualen Anteile der Stromversorgung dominieren mit 65-75% bei der Kategorie «36-150kV 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 $0.05 \mu\text{T}$ für alle Teilmessungen und ist damit tiefer als an den meisten Standorten mit einer NF-Primärquelle. Maximalwerte können aber gleich hoch sein wie bei den Standorten mit einer NF-Primärquelle. Der Anteil an der Gesamtflussdichte liegt beim Eisenbahnstrom je nach Teilmessung zwischen 54% und 67% und die Anteile der Stromversorgung liegen zwischen 33% und 46%. Beiträge von Tramlinien wurden bei den 17 Messungen nicht beobachtet.

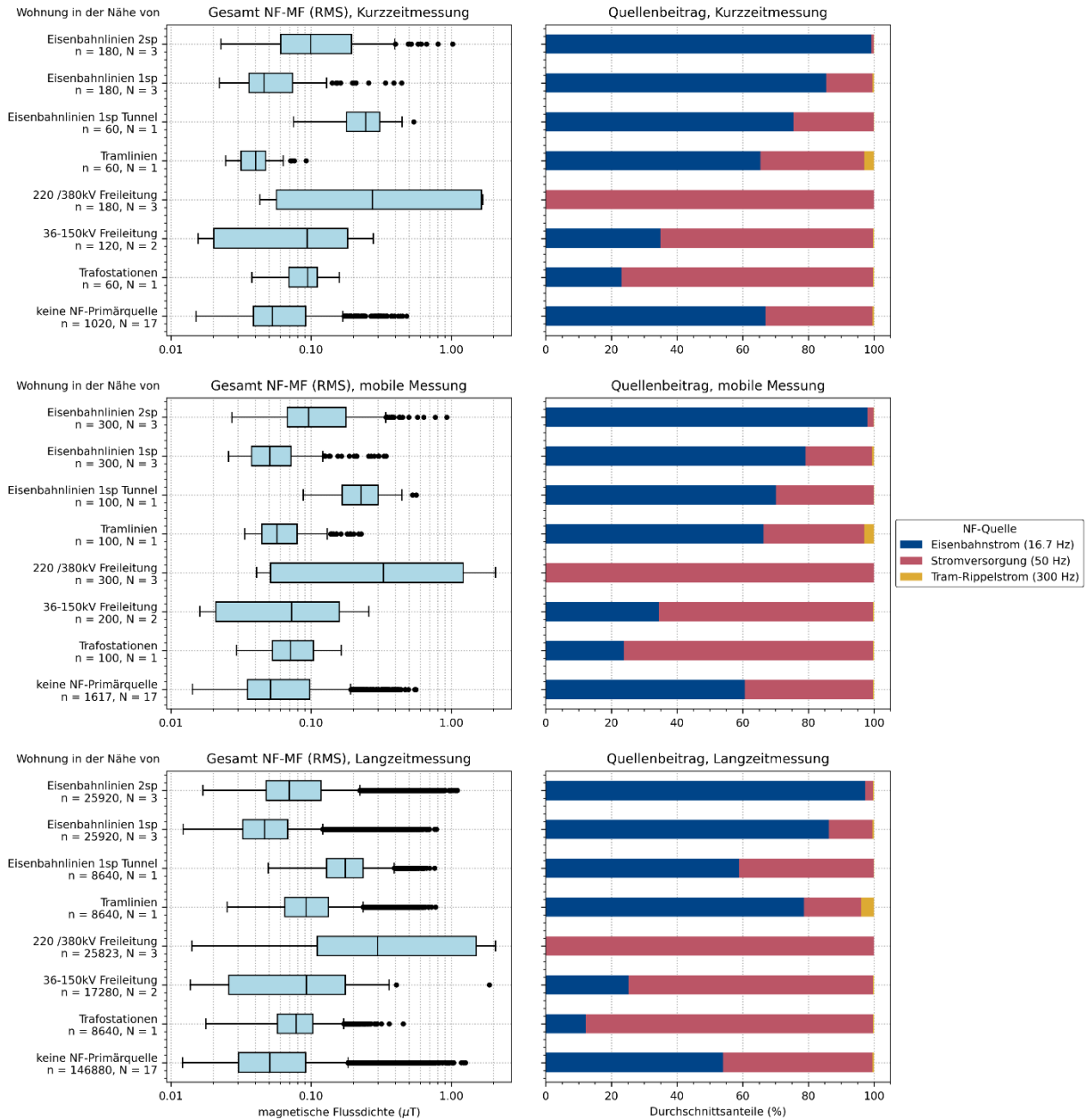


Abbildung 23: Verteilung der mit Gleichung (2) berechneten RMS NF-MF Werte der Spotmessungen, gruppiert nach Teilmessung (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) und der primären NF-Quelle in der Umgebung des Messstandorts. Für Wohnungen, welche sich nicht in der Nähe einer der aufgeführten NF-Quellen befinden, ist die Kategorie «keine NF-Primärquelle» zu wählen. Die Mittellinie zeigt den Median, der blaue Balken das 25. und 75. Perzentil. Ausreisser 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 38 und Tabelle 39 des Anhangs.

Die mittlere Belastung der gesamten niederfrequenten magnetischen Flussdichte ist in Abbildung 24 für jede Primärquelle dargestellt. Dabei wird nach Gleichung (5) das arithmetische Mittel der resultierenden magnetischen Flussdichte für jede Messung gebildet. Anschliessend werden die Mittelwerte nach Primärquelle gruppiert und das Minimum, arithmetische Mittel (siehe Gleichung (10)) und Maximum innerhalb der Primärquellengruppe gebildet. Dies gibt Aufschluss, über welchen Bereich sich die mittlere Belastung erstreckt. Ein charakteristischer Wert für jede Primärquellengruppe ist durch den Mittelwert der mittleren Gesamtflussdichte der verschiedenen Messungen in der Gruppe gegeben. Verglichen mit den Medianwerten in Abbildung 23 ergibt sich ein ähnliches Muster. Bei dieser Form der Auswertung sind die Mittelwerte jedoch zu höheren magnetischen Flussdichten hin verschoben. Die hohen Maximalwerte bei der Primärquellenkategorie «220/380 kV Freileitung» sind bei dieser Auswertung ebenfalls ersichtlich.

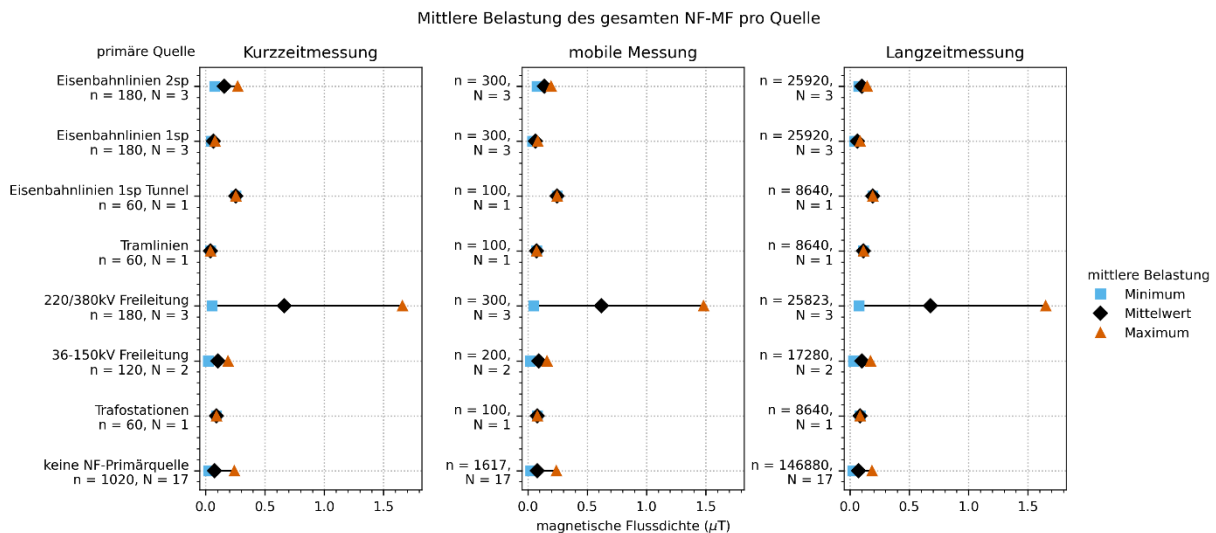


Abbildung 24: Spannweite der nach Gleichung (5) berechneten NF-MF magnetischen Gesamtflussdichte für jede Primärquelle. Die Raute kennzeichnet das arithmetische Mittel aller zu einem Quellentyp gehörender Gesamtflussdichten, siehe Gleichung (10). Die linke und rechte Begrenzung zeigen die tiefste und 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 40 des Anhangs aufgeführt.

3.3 Stationäre Dauermessungen

Alle fünf Messstationen der Stationären Dauermessungen sind seit 1. Januar 2023 operativ und messen kontinuierlich die HF-Immissionen. Die Ergebnisse werden im Jahresbericht 2023 präsentiert und diskutiert.

4. Diskussion

Das Hauptziel dieses Jahresberichts bestand darin, die Messungen, die im Rahmen des Schweizer NIS-Expositionsmonitorings durchgeführt wurden, zu beschreiben. Bei den Routenmessungen werden Daten von insgesamt 150 Mikroumgebungen, 90 öffentlichen Orten und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln, welche im Jahre 2022 gesammelt wurden, dargestellt. Zusätzlich wurden die bereits im Jahresbericht 2021 [2] analysierten Routenmessungen mit einer Analyse nach Zugbelegung sowie einer vertieften Analyse für Schulen ergänzt. Bei den Spotmessungen handelt es sich bei den präsentierten Daten in diesem Jahresbericht um 26 Standorte, die zwischen 2021 und März 2023 vermessen wurden. Hier wurde die Stichprobe mit Messungen aus dem 1. Quartal 2023 ergänzt, da wegen Pandemie-Einschränkungen im Jahr 2022 weniger Messungen als geplant durchgeführt werden konnten.

4.1 Routenmessungen

Im Jahr 2022 sammelten wir Daten in 150 Mikroumgebungen, an 90 öffentlichen Orten sowie in 5 Schulen und zahlreichen öffentlichen Verkehrsmitteln.

4.1.1 Allgemeine Routenmessungen

Bei den Routenmessungen reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.07 V/m in Naturgebieten bis 0.29 V/m in Industriegebieten (Abbildung 9). Die Medianwerte der HF-EMF (RMS) nehmen tendenziell mit zunehmender Urbanisierung zu. Das höchste 95. Perzentil (Q95) liegt in urbanen städtischen Zentren bei 0.88 V/m. Bei den öffentlichen Bereichen reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.05 V/m in einer Bibliothek bis 0.38 V/m bei Tramhaltestellen. Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel weisen höhere Medianwerte (HF: 0.29 – 0.38 V/m) auf als Bereiche in Innenräumen wie Supermärkte oder Schulen (HF: 0.05 – 0.09 V/m). Da sich letztere im Gegensatz zu ersteren in Innenräumen befinden, werden sie durch die Wände von den Emissionen der Mobilfunkantennen abgeschirmt. In öffentlichen Verkehrsmitteln reichen die Medianwerte der HF-EMF (RMS) von 0.12 V/m in einer Seilbahn bis 0.29 V/m in der Metro. Die berichteten Werte sind mit Studien im Ausland vergleichbar [8-10].

In Bezug auf NF-EMF liegen die Medianwerte (RMS) bei den Routenmessungen zwischen 0.03 μ T in landwirtschaftlichen Gebieten und 0.19 μ T in urbanen 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 1.52 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 0.03 μ T in Schulen bis 0.39 μ T in Bahnhöfen. In öffentlichen Verkehrsmitteln reichen die Medianwerte der NF-MF (RMS) von 0.02 μ T in einer Seilbahn bis 0.44 μ T in Zügen. Auch die Spitzenwert (95. Perzentils) sind in Zügen (5.87 μ T) und Bahnhöfen (2.99 μ T) am höchsten. Die Vergleichbarkeit von NF-Messungen auf internationaler Ebene 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 in Zügen

Die Zusatzauswertungen umfassten die Messergebnisse von NF- und HF-Messungen in Zügen nach drei Belegungskategorien: hoch, mittel, tief.

Im Vergleich mit anderen Messumgebungen zeigt sich die mittlere HF-Belastung in Zügen mit 0.32 V/m auf einem hohen Niveau (Abbildung 17). Die HF-Exposition in Zügen nimmt tendenziell mit dem Personenaufkommen in Zügen zu, da durch das Personenaufkommen auch die Anzahl aktiver HF-Quellen in den Zügen steigt. Die Ergebnisse dieser Analyse bestätigen die Tendenz, die sich auch in anderen wissenschaftlichen Studien gezeigt hat [10]. Die HF-Medianwerte der Zugbelegung (RMS: 0.17 V/m bei tiefer Belegung bis 0.44 V/m bei hoher Belegung) sind vergleichbar mit einer europäischen Studie [11], in welcher die persönliche Exposition von 37 Kindern in Zügen zwischen 2014 und 2016 mit einem Medianwert von 0.38 V/m gemessen wurde.

Die mittlere Belastung der NF-MF Exposition in Zügen liegt bei 1.23 μ T und ist der höchste Wert im Vergleich zu allen anderen Messumgebungen und kann bis zu 8.99 μ T erreichen (Abbildung 18). Wie erwartet, hängt die NF-MF-Exposition nicht von der Belegung der Züge ab, da aufgrund der Belegung keine NF-Quellen hinzukommen oder wegfallen. Obwohl relativ wenige neuere Studien die Belastung durch ELF-MF im Zug gemessen haben [12], hat eine iranische Studie aus dem Jahr 2017 die Belastung in der Kabine eines Zugführers mit einem Mittelwert von 1.47 μ T gemessen, wobei Spitzenwerte von bis zu 7.90 μ T gemessen wurden [13], vergleichbar mit unseren Ergebnissen.

4.1.3 Messungen an Schulen

Die Zusatzauswertungen umfassten die Ergebnisse der NF- und HF-Messungen an fünf Schulen (zwei Primar-, zwei Sekundarschulen, ein Gymnasium). Gemessen wurde auf Pausenplätzen innen und aussen sowie auf den Korridoren, wo dies möglich war. Spezifische Messungen in den Klassenzimmern fanden nicht statt. 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 0.17 V/m auf einem tiefen Niveau (Abbildung 17). Die Bandbreite der mittleren Belastung an Schulen deckt sich mit der Belastung im öffentlichen Bereich. Auf den «Pausenplätzen - aussen» stammt der Hauptteil der Belastung von Mobilfunkanlagen (Downlink: 73-78%), allerdings auf tiefem Niveau. Im Gebäudeinneren ist die Gesamtbelastung nochmals reduziert, wobei der Hauptteil der Belastung dann vom WLAN (69-90%) stammt. In den Pausen steigt der durch Mobiltelefone verursachte Strahlungsanteil leicht an (Uplink: 30%).

Die in den Schulen gemessenen HF-EMF Werte sind ähnlich wie in anderen internationalen Studien. Im Rahmen der SCAMP-Studie [14] 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: 0.20 V/m). In 102 Primarschulen in Amsterdam [15] 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: 0.13 V/m) und auf dem «Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen» (RMS HF: 0.29 V/m).

Im Vergleich mit anderen Messungen im öffentlichen Bereich zeigt sich die mittlere NF-Belastung in Schulen mit 0.06 μ T auf einem tiefen Niveau (Abbildung 18). Die Bandbreite der mittleren Belastung an Schulen deckt sich mit der Belastung im öffentlichen Bereich. Es gibt nur wenige Studien über die Exposition

gegenüber NF-MF in Schulen. Unsere Ergebnisse ähneln einer spanischen Studie [16], in der die mittlere Belastung in 26 Schulen auf dem Schulhof und in den Klassenzimmern mit 0.015 μT bzw. 0.017 μT gemessen wurde. Diese Ergebnisse liegen im unteren Bereich der hier gemessenen mittlere NF-Belastung (0.06 μT).

4.1.4 Vergleich 2021/2022 von Routenmessungen

Tabelle 9 zeigt die HF- und NF Medianwerte (RMS) der Messumgebungen, die 2021 und 2022 gemessen wurden. Insgesamt sind die HF- und NF-Werte, die 2021 und 2022 gemessen wurden, in den meisten Messumgebungen ähnlich. Bei den HF-Werten wurden die grössten Unterschiede in «ETH/UNI/FH» mit einer absoluten Differenz von 0.14 V/m und in Restaurants mit 0.10 V/m beobachtet, was teilweise durch unterschiedliche Messorte erklärt werden kann. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln zeichnet sich eine allgemeine Tendenz zu höheren HF-Werten im Jahr 2022 ab, was zum Teil darauf zurückzuführen sein könnte, dass im Jahr 2022 öfters in öffentlichen Verkehrsmitteln mit hoher Auslastung gemessen wurde als 2021, wo die Besetzung als Folge der Pandemie noch etwas geringer war. Die Tatsache, dass die Messwerte für die jeweiligen Typen von Messumgebungen 2021 und 2022 ähnlich waren, zeigt, dass die erhobenen Daten für die entsprechenden Orte repräsentativ sind.

Tabelle 9: Vergleich der in den Jahren 2021 [2] und 2022 gemessenen HF- und NF-Medianwerte für Routenmessungen. Ein zeitlicher Vergleich ist jedoch nur begrenzt möglich, da nicht die gleichen Umgebungen gemessen wurden.

	HF-Medianwerte (RMS) (V/m)		NF-Medianwerte (RMS) (μT)	
Messumgebung	2021	2022	2021	2022
Industriegebiet	0.30	0.29	0.11	0.14
urbanes Stadtzentrum	0.19	0.24	0.17	0.19
urbanes zentrales Wohngebiet	0.18	0.20	0.17	0.18
Sport-/Freizeitgebiet	0.25	0.17	0.03	0.03
landwirtschaftliches Gebiet (ohne Rundfunk Sender)	0.07	0.11	0.02	0.03
Stadtzentrum (suburbanes + ländliches)	0.11	0.08-0.15	0.13	0.12-0.13
urbanes dezentrales Wohngebiet	0.14	0.15	0.16	0.14
Wohngebiet (suburbanes + ländliches)	0.09	0.10-0.13	0.12	0.09
Naturgebiet	0.05	0.07	0.02	0.06
	HF-Medianwerte (RMS) (V/m)		NF-Medianwerte (RMS) (μT)	
Messumgebung	2021	2022	2021	2022
Tramhaltestelle	0.39	0.38	0.34	0.20
Bushaltestelle	0.33	0.35	0.15	0.16
Bahnhof	0.25	0.29	0.19	0.39
ETH/UNI/FH	0.09	0.23	0.05	0.14
Restaurant	0.10	0.20	0.07	0.05
Supermarkt	0.09	0.06	0.05	0.06
Bibliothek	0.20	0.05	0.05	0.03
	HF-Medianwerte (RMS) (V/m)		NF-Medianwerte (RMS) (μT)	
Messumgebung	2021	2022	2021	2022
Metro	0.19	0.29	0.12	0.05

Messumgebung	HF-Medianwerte (RMS) (V/m)		NF-Medianwerte (RMS) (μ T)	
	2021	2022	2021	2022
Tram	0.18	0.24	0.15	0.18
Zug	0.20	0.24	0.42	0.44
Bus	0.14	0.20	0.08	0.08
Seilbahn	0.08	0.12	0.02	0.02

4.2 Spotmessungen

Die Spotmessungen 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. Dabei wird bewusst an Orten 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 2023 vorliegenden Daten ist dies noch nicht überall der Fall.

Für HF-EMF Messungen in der Nähe von Radio/TV-Sendern liegt lediglich ein Datensatz vor (N=1). 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 den Kurzzeitmessungen in Räumen mit längerer Aufenthaltsdauer sind die HF-EMF Messwerte im Allgemeinen tiefer als draussen bei den Routenmessungen. Das dürfte in erster Linie auf die Abschirmung durch die Gebäudehülle zurückzuführen sein. Für Wohnungen ohne prioritäre HF-EMF Quelle sind die HF-EMF Medianwerte (0.13 V/m) nur wenig tiefer als für Orte, welche aufgrund der Nähe zu einer Mobilfunkbasisstation (0.16 V/m) ausgewählt wurden. Jedoch ist die Variabilität in der Exposition höher. So geht aus Tabelle 34 hervor, dass der Interquartilsabstand für Messumgebungen in der Nähe von Mobilfunkanlagen mit 0.21 V/m deutlich grösser ist, als 0.10 V/m in der Abwesenheit von HF-Primärquellen. Auch das 95. Perzentil ist mit 0.57 V/m höher als für Standorte, welche in Bezug auf den Mobilfunk zufällig ausgewählt wurden (0.27 V/m). Das gleiche Bild ergibt sich bei den mobilen Messungen in den Wohnungen. Der Medianwert bei den Orten mit Mobilfunk als Primärquelle beträgt 0.13 V/m und bei der Kategorie «keine HF-Primärquelle» 0.08 V/m. Die Interquartilsabstände unterscheiden sich mit 0.16 V/m («Mobilfunk») und 0.09 V/m («keine HF-Primärquelle») ebenfalls. Auch bei den 24h-Langzeitmessungen sind diese Unterschiede bei den Medianwerten mit 0.12 V/m («Mobilfunk») resp. 0.08 V/m («keine HF-Primärquelle») und bei den Interquartilsabständen erkennbar (0.12 V/m für Wohnungen in der Nähe einer Mobilfunkanlage und mit 0.07 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 auftreten können. Die in den Wohnungen gemessene Belastung hängt neben der Gebäudedämpfung, von der Distanz zur Quelle, der Dämpfung durch Hindernisse, der effektiven Sendeleistung, 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 Belastungssituation resultieren.

Vergleicht man die Medianwerte innerhalb einer Primärquelle über die drei Teilmessungen (Kurzzeitmessung, mobile Messung und Langzeitmessung) hinweg, so lässt sich eine leichte Abnahme zwischen der Kurzzeitmessung und den übrigen beiden Teilmessungen erkennen. Die Medianwerte der

mobilen Messungen und der Langzeitmessungen sind innerhalb der Primärquellenkategorie beinahe identisch.

Bei der Primärquelle «Mobilfunk» trägt der Downlink massgeblich zur Gesamtfeldstärke bei, gefolgt von der Kategorie Rundfunk und bei den Kurzzeitmessungen, welche meistens im Wohnzimmer durchgeführt wurden, auch WLAN. In Abwesenheit primärer HF-Quellen variiert die Zusammensetzung des HF-EMF Gesamtfeldes stärker, ist aber ebenfalls von Downlink und Rundfunk und WLAN dominiert. Bei den Langzeitmessungen im Schlafzimmer trägt WLAN nur noch 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. Das deutet darauf hin, dass WLAN Access Points und DECT Telefone vorwiegend in Räumen mit häufigem und langem Aufenthalt platziert werden, und nicht im Schlafzimmer. Damit erklärt 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 eine ca. 10% Unterschätzung der Exposition aufgrund der Körperabschirmung zu erwarten ist (siehe unten). Uplink und Time-Division-Duplex tragen über alle Teilmessungen hinweg bei sämtlichen Messumgebungstypen weniger als 2% zur Gesamtfeldstärke bei.

Die Anzahl an Messungen an Standorten mit gleicher Primärquelle liegt zwischen drei und einer Messung. Bei einem solch kleinen Stichprobenumfang können die Verteilungen stark durch die Gegebenheiten bei einzelnen Messstandorten beeinflusst werden. Im weiteren Verlauf des Monitorings sind dann robustere Daten zur Expositionsverteilung in verschiedenen Wohnungen zu erwarten

Die Medianwerte der magnetischen Gesamtflussdichte bei der Kurzzeitmessung reichen von 0.04-0.27 μT , bei der mobilen Messung von 0.05-0.33 μT und bei der Langzeitmessung von 0.05-0.18 μT . Diese NF-Messwerte sind vergleichbar mit Expositionsmessungen, die 2012/13 in der Schweiz und in Italien in 246 Schlafzimmern durchgeführt wurden [17]. In dieser Studie betrug der Mittelwert der magnetischen Flussdichte 0.06 μT , und der Höchstwert lag bei 0.7 μT .

Die höchsten NF-EMF Werte wurden erwartungsgemäss in Wohnungen in der Nähe der Primärquelle «220 / 380 kV Freileitung» gemessen. Die Maxima betragen 1.7 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 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. 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 [18].

4.3 Limitierungen

Um den Effekt der Körperabschirmung 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 dafür darin, dass eine Vielzahl von Daten erhoben werden können. Dabei bewegt man sich ähnlich durch die Messumgebungen wie dies die Bevölkerung im Alltag ebenfalls macht.

Der Vergleich der Resultate der diesjährigen Routenmessungen mit den Messumgebungen des Berichts 2021 erlaubt keine Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung der EMF-Immissionen, da nicht an den gleichen Orten gemessen wurde. Eine Analyse der zeitlichen Entwicklung der EMF-Immissionen zwischen 2021 und 2023 wird im nächstjährigen Bericht publiziert werden, anhand der Daten der Routenmessungen an denselben Messorten.

Die HF-EMF-Werte bei dieser Expositionsmonitoring stellen ein Basisniveau dar, dem die Schweizer Bevölkerung durch körperferne Quelle dauerhaft ausgesetzt ist. Diese Werte spiegeln jedoch nicht die gesamte Exposition der Bevölkerung wider, welche persönliche drahtlose Geräte verwendet. Daher ist die persönliche Exposition höher als die in dieser Studie dokumentierten Werte [19].

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] 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>.
- [4] 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.htm#-224531633> (accessed 2023).
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] L. E. Birks *et al.*, "Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe," *Environ Int*, vol. 117, pp. 204-214, Aug 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.04.026.
- [12] M. Bonato, E. Chiaramello, M. Parazzini, P. Gajsek, and P. Ravazzani, "Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields Exposure: Survey of Recent Findings," (in English), *Ieee J Electromag Rf*, May 1 2023, doi: 10.1109/Jerm.2023.3268555.
- [13] H. Jalilian, K. Najafi, M. Monazzam, Y. Khosravi, and Z. Zamanian, "Assessment of static and extremely low-frequency magnetic fields in the electric-powered trains," *International Journal of Occupational Hygiene*, vol. 9, no. 2, pp. 105-112, 2017.
- [14] 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.
- [15] L. van Wel, R. Vermeulen, M. van Eijsden, 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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>.
- [19] L. van Wel *et al.*, "Radio-frequency electromagnetic field exposure and contribution of sources in the general population: an organ-specific integrative exposure assessment," *J Expo Sci Environ Epidemiol*, vol. 31, no. 6, pp. 999-1007, Nov 2021, doi: 10.1038/s41370-021-00287-8.

6. Datenquellen

Tabelle 10: 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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 11: 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 12: Liste der Standortgemeinden mit der gesamten Anzahl Mikroumgebungen pro Gemeinde und aufgeteilt nach Mikroumgebungstyp.

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

Gemeinde	Kanton	Industriegebiet	urbanes Stadtzentrum	urbanes zentrales Wohngebiet	urbanes dezentrales Wohngebiet	suburbanes Stadtzentrum	suburbanes Wohngebiet	ländliches Stadtzentrum	ländliches Wohngebiet	landwirtschaftliches Gebiet	Sport-/Freizeitgebiet	Naturgebiet	landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunksender	Total
Herisau	AR					1	1							2
Kehrsatz	BE					1	2							3
Landquart	GR					1	2							3
Langnau	BE	1						1	1					3
Lausanne	VD	1												1
Liestal	BL	1				1	2							4
Luzern	LU		1	1	2						1			5
Marly	FR						1							1
Neuhausen	SH	1				1	1					1		4
Niedergoesgen	SO	1				1								2
Pully	VD					1	1							2
Rossemaison	JU								1			1		2
Ruete	AI								1					1
Schaffhausen	SH		1											1
Schwyz	SZ					1	2							3
Selzach	SO							1	1					2
Solothurn	SO		1	1	2									4
St. Gallen	SG	1	1	1	3									6
Unterbaech	VS								1					1
Visp	VS					1	1							2
Vully-les-Lacs	VD							1	1				1	3
Walchwil	ZG							1	1					2
Winterthur	ZH	1	1	1	2									5
Wohlen	BE					1	2							3
Yverdon	VD	1				1	1				1			4
Zermatt	VS					1	2							3
Zernez	GR							1	1					2
Total		14	10	10	18	21	29	13	19	6	4	3	3	150

Messumgebungen in öffentlichen Bereichen

Tabelle 13: Liste der Standortgemeinden mit der gesamten Anzahl Messumgebungstyp pro Gemeinde und aufgeteilt nach Messumgebungstyp, bzw. öffentlichen Bereichen.

Gemeinde	Kanton	Bahnhof	Tramhaltestelle	Bushaltestelle	ETH/UNI/FH	Supermarkt	Restaurant	Bibliothek	Total
Allschwil	BL	0	0	0	0	0	1	0	1
Appenzell	AI	1	0	0	0	0	1	0	2
Arisdorf	BL	0	0	0	0	0	1	0	1
Basel	BS	2	2	0	0	0	0	0	4
Belp	BE	1	0	0	0	0	1	0	2
Bern	BE	5	1	0	0	0	0	0	6
Bourg-en-Lavaux	VD	1	0	0	0	0	0	0	1
Bowil	BE	1	0	0	0	0	1	0	2
Chur	GR	0	0	1	3	0	0	0	4
Delemont	JU	0	0	0	0	1	2	0	3
Disentis	GR	1	0	0	0	1	0	0	2
Erstfeld	UR	0	0	0	0	1	0	0	1
Ettiswil	LU	0	0	1	0	0	0	0	1
Frauenfeld	TG	0	0	0	0	1	2	0	3
Freienbach	SZ	1	0	1	0	0	0	0	2
Fribourg	FR	0	0	3	0	0	1	0	4
Geneve	GE	3	1	0	0	0	0	1	5
Glarus	GL	1	0	0	0	1	0	0	2
Grolley	FR	1	0	0	0	0	0	0	1
Landquart	GR	0	0	0	0	1	0	0	1
Langnau	BE	1	0	0	0	0	0	0	1
Lausanne	VD	1	0	1	0	0	1	0	3
Liestal	BL	2	0	1	0	1	0	0	4
Luzern	LU	0	0	2	0	0	0	0	2
Neuhausen	SH	0	0	1	0	0	0	0	1
Olten	SO	0	0	0	3	0	0	0	3
Riehen	BS	0	0	2	0	0	0	0	2
Ruete	AI	0	0	0	0	1	0	0	1
Schaffhausen	SH	0	0	1	0	0	1	0	2
Schwyz	SZ	0	0	2	0	0	1	0	3
Solothurn	SO	2	0	0	0	1	1	0	4
St. Gallen	SG	1	0	2	0	0	2	0	5

Gemeinde	Kanton	Bahnhof	Tramhaltestelle	Bushaltestelle	ETH/JNI/FH	Supermarkt	Restaurant	Bibliothek	Total
Visp	VS	1	0	0	0	0	0	0	1
Winterthur	ZH	1	0	2	0	1	0	0	4
Wohlen	BE	0	0	2	0	1	1	0	4
Yverdon	VD	1	0	0	0	0	1	0	2
Total		28	4	22	6	11	18	1	90

III Statistische Kenngrößen der Routenmessungen

3.1.1 Allgemeiner Überblick - HF-Exposition

Tabelle 14: Statistische Kenngrößen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2421	0.05	0.10	0.18	0.29	0.46	0.80	2.85
	urbanes Stadtzentrum	10	1677	0.03	0.06	0.14	0.24	0.39	0.88	6.02
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1617	0.02	0.06	0.12	0.20	0.34	0.69	3.66
	Sport-/Freizeitgebiet	4	659	0.08	0.10	0.13	0.17	0.22	0.40	1.40
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1500	0.02	0.03	0.09	0.16	0.46	1.55	2.46
	suburbanes Stadtzentrum	21	3392	0.02	0.05	0.10	0.15	0.24	0.49	2.23
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2987	0.02	0.04	0.09	0.15	0.26	0.51	2.08
	suburbanes Wohngebiet	29	4804	0.02	0.03	0.07	0.13	0.24	0.51	1.41
	ländliches Wohngebiet	20	3178	0.01	0.02	0.05	0.10	0.19	0.45	2.21
	ländliches Stadtzentrum	13	2072	0.02	0.03	0.05	0.08	0.13	0.28	0.84
Naturgebiet	3	470	0.02	0.03	0.05	0.07	0.13	0.27	0.52	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	4	434	0.09	0.16	0.27	0.38	0.49	0.67	1.65
	Bushaltestelle	22	2020	0.05	0.11	0.21	0.35	0.49	1.21	10.39
	Bahnhof	28	2612	0.02	0.07	0.17	0.29	0.52	1.12	3.53
	ETH/UNI/FH	6	860	0.02	0.03	0.05	0.23	0.49	0.84	1.37
	Restaurant	18	3389	0.02	0.04	0.08	0.20	0.49	0.91	6.11
	Schule	16	2239	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.43	1.36
	Supermarkt	11	1234	0.02	0.02	0.04	0.06	0.11	0.26	1.06
	Bibliothek	1	129	0.02	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.31
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Metro	3	187	0.10	0.13	0.22	0.29	0.39	0.70	1.09
	Tram	97	787	0.05	0.10	0.17	0.24	0.36	0.62	1.42
	Zug	7	26480	0.01	0.06	0.15	0.24	0.37	0.70	3.04
	Bus	57	5961	0.02	0.06	0.13	0.20	0.30	0.60	2.41
	Seilbahn	2	141	0.03	0.03	0.06	0.12	0.18	0.26	0.33

Tabelle 15: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS). RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2421	0.43	88.0	0.1	3.4	8.2	0.2	0.1
	urbanes Stadtzentrum	10	1677	0.48	83.8	0.1	0.9	2.7	0.5	12.0
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1617	0.4	95.8	0.3	0.7	2.8	0.4	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	4	659	0.24	80.8	0.1	0.2	18.7	0.2	0.0
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1500	0.62	2.7	0.0	0.0	97.2	0.0	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	21	3392	0.25	74.0	0.1	2.0	23.3	0.5	0.1
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2987	0.26	86.5	0.1	1.4	11.2	0.6	0.1
	suburbanes Wohngebiet	29	4804	0.24	60.6	0.1	1.3	37.5	0.4	0.1
	ländliches Wohngebiet	20	3178	0.22	77.3	0.1	0.6	21.6	0.3	0.0
	ländliches Stadtzentrum	13	2072	0.14	48.2	0.2	1.1	48.9	1.1	0.5
Naturgebiet	3	470	0.13	54.5	0.5	1.0	42.9	1.0	0.0	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Tramhaltestelle	4	434	0.43	90.7	0.1	3.2	4.4	1.4	0.3
	Bushaltestelle	22	2020	0.73	93.4	0.3	0.8	5.1	0.3	0.2
	Bahnhof	28	2612	0.54	73.4	0.7	4.0	20.5	0.9	0.4
	ETH/UNI/FH	6	860	0.42	91.0	1.1	2.3	3.8	1.6	0.2
	Restaurant	18	3389	0.43	94.9	1.6	0.2	0.9	1.8	0.5
	Schule	16	2239	0.21	72.0	1.5	1.5	19.3	5.4	0.4
	Supermarkt	11	1234	0.13	68.3	5.2	0.3	2.5	12.8	10.9
	Bibliothek	1	129	0.08	38.6	5.3	0.4	33.1	22.6	0.1
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Metro	3	187	0.37	10.6	66.6	0.0	0.6	22.2	0.0
	Tram	97	787	0.36	74.4	6.7	5.8	4.7	8.1	0.3
	Zug	7	26480	0.34	44.5	35.0	5.6	1.2	13.6	0.1
	Bus	57	5961	0.32	60.3	8.0	4.2	20.9	6.5	0.2
	Seilbahn	2	141	0.15	67.3	15.7	1.1	12.4	3.5	0.1

Tabelle 16: Statistische Kenngrössen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2419	0.18	0.50	1.00	1.71	2.88	5.12	18.13
	urbanes Stadtzentrum	10	1675	0.11	0.25	0.68	1.21	2.10	5.23	16.89
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1616	0.09	0.26	0.58	1.10	1.84	3.71	26.25
	suburbanes Stadtzentrum	21	3391	0.08	0.20	0.42	0.74	1.28	2.80	7.92
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2990	0.07	0.12	0.38	0.71	1.31	2.73	10.38
	Sport-/Freizeitgebiet	4	659	0.24	0.38	0.52	0.70	1.18	2.90	6.53
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1498	0.07	0.12	0.32	0.67	1.70	6.96	12.27
	suburbanes Wohngebiet	29	4809	0.06	0.11	0.26	0.55	1.13	2.80	9.01
	ländliches Wohngebiet	20	3178	0.05	0.09	0.19	0.42	0.93	2.49	8.00
	ländliches Stadtzentrum	13	2072	0.06	0.10	0.17	0.30	0.59	1.47	3.05
Naturgebiet	3	470	0.06	0.10	0.14	0.22	0.57	1.77	2.80	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Tramhaltestelle	4	432	0.42	0.76	1.47	1.96	2.56	3.46	6.73
	Bushaltestelle	22	2022	0.16	0.41	1.06	1.83	3.19	6.49	63.66
	Bahnhof	28	2607	0.07	0.34	0.79	1.58	2.80	5.68	28.50
	ETH/UNI/FH	6	861	0.07	0.15	0.34	1.29	2.46	4.28	14.44
	Restaurant	18	3391	0.08	0.15	0.45	1.26	2.20	3.69	22.64
	Schule	16	2241	0.06	0.11	0.27	0.52	1.18	2.65	9.61
	Supermarkt	11	1234	0.06	0.13	0.27	0.46	0.84	1.85	7.59
	Bibliothek	1	130	0.07	0.09	0.13	0.23	0.58	1.54	5.25
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Metro	3	187	0.37	0.75	1.11	1.58	2.25	3.41	6.82
	Zug	97	26486	0.03	0.31	0.90	1.52	2.41	4.58	18.88
	Tram	7	787	0.17	0.48	1.02	1.50	2.18	3.66	6.78
	Bus	57	5956	0.09	0.28	0.69	1.14	1.84	3.57	11.49
	Seilbahn	2	142	0.09	0.11	0.35	0.64	1.01	1.58	2.01

Tabelle 17: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (Peak). RMS (V/m) bezeichnet den berechneten quadratischen Mittelwert nach Gleichung (4). "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp.

	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	2419	2.68	73.6	0.0	23.5	2.6	0.3	0.1
	urbanes Stadtzentrum	10	1675	2.58	90.7	0.2	7.5	0.7	0.9	0.1
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1616	2.20	93.5	0.1	4.9	1.0	0.6	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	21	3391	1.35	84.2	0.2	11.0	3.4	1.1	0.2
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2990	1.32	76.4	0.1	12.3	10.1	1.1	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	4	659	1.31	92.7	0.4	0.5	5.9	0.4	0.1
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	1498	2.68	5.2	0.0	0.1	94.6	0.1	0.0
	suburbanes Wohngebiet	29	4809	1.30	65.1	0.0	17.9	16.4	0.4	0.0
	ländliches Wohngebiet	20	3178	1.12	87.7	0.1	4.3	7.0	0.9	0.0
	ländliches Stadtzentrum	13	2072	0.67	62.0	0.3	8.8	26.1	2.6	0.2
	Naturgebiet	3	470	0.72	66.3	3.3	16.9	9.2	4.4	0.0
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Tramhaltestelle	4	432	2.22	80.3	0.3	16.5	0.6	2.1	0.2
	Bushaltestelle	22	2022	4.14	89.6	0.3	8.3	1.3	0.3	0.2
	Bahnhof	28	2607	2.94	69.1	1.0	24.3	3.5	1.9	0.2
	ETH/UNI/FH	6	861	2.14	70.1	3.0	14.2	1.9	10.7	0.1
	Restaurant	18	3391	2.05	85.5	2.7	0.4	4.2	6.7	0.5
	Schule	16	2241	1.23	64.2	1.0	12.2	8.3	14.3	0.1
	Supermarkt	11	1234	1.02	25.0	2.6	0.7	0.3	61.2	10.2
	Bibliothek	1	130	0.84	8.2	1.0	0.1	1.7	89.0	0.0
	Messumgebung	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Verkehrsmittel	Metro	3	187	2.04	8.6	66.9	0.0	0.1	24.4	0.0
	Zug	97	26486	2.33	31.0	29.3	18.7	0.4	20.5	0.1
	Tram	7	787	1.98	54.8	8.3	27.4	2.1	7.3	0.2
	Bus	57	5956	1.84	53.2	8.9	20.8	9.1	8.0	0.0
	Seilbahn	2	142	0.85	67.3	25.3	3.8	1.9	1.7	0.0

Tabelle 18: 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	urbanes Stadtzentrum	10	0.25	0.46	0.66
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	0.08	0.44	1.26
	Industriegebiet	14	0.18	0.40	0.67
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	0.17	0.36	0.78
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	0.03	0.24	0.34
	suburbanes Stadtzentrum	21	0.09	0.23	0.40
	Sport-/Freizeitgebiet	4	0.15	0.22	0.35
	suburbanes Wohngebiet	29	0.05	0.21	0.45
	ländliches Wohngebiet	20	0.03	0.18	0.55
	ländliches Stadtzentrum	13	0.03	0.13	0.26
	Naturgebiet	3	0.08	0.12	0.19
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Bushaltestelle	22	0.11	0.54	2.09
	Bahnhof	28	0.07	0.46	1.16
	Tramhaltestelle	4	0.21	0.39	0.52
	ETH/UNI/FH	6	0.06	0.35	0.67
	Restaurant	18	0.03	0.30	0.93
	Schule	16	0.04	0.17	0.49
	Supermarkt	11	0.06	0.11	0.3
	Bibliothek	1	0.08	0.08	0.08
	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
Verkehrsmittel	Metro	3	0.33	0.37	0.43
	Tram	97	0.04	0.34	1.34
	Zug	7	0.16	0.32	0.44
	Bus	57	0.09	0.3	0.77
	Seilbahn	2	0.13	0.15	0.16

Tabelle 19: Bereich der mittleren Belastung der Peak HF-EMF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert wird nach Gleichung (9) berechnet. Das Minimum und Maximum zeigen jeweils den tiefsten und höchsten Effektiv-Mittelwert pro einzelne Messumgebung. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	1.07	2.52	3.92
	urbanes Stadtzentrum	10	1.30	2.39	4.33
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	0.80	2.00	4.42
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	0.29	1.84	5.71
	suburbanes Stadtzentrum	21	0.40	1.28	1.96
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	0.11	1.23	2.01
	Sport-/Freizeitgebiet	4	0.63	1.15	2.13
	suburbanes Wohngebiet	29	0.19	1.10	3.01
	ländliches Wohngebiet	20	0.12	0.92	2.54
	ländliches Stadtzentrum	13	0.14	0.60	1.16
Naturgebiet	3	0.21	0.57	1.21	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Bushaltestelle	22	0.38	2.93	12.38
	Bahnhof	28	0.22	2.47	5.85
	Tramhaltestelle	4	1.10	2.01	2.69
	ETH/UNI/FH	6	0.30	1.86	3.65
	Restaurant	18	0.16	1.47	3.99
	Schule	16	0.26	1.09	2.50
	Supermarkt	11	0.49	0.88	1.89
	Bibliothek	1	0.84	0.84	0.84
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Zug	97	0.15	2.10	6.58
	Metro	3	1.75	2.02	2.52
	Tram	7	0.80	1.91	2.45
	Bus	57	0.57	1.76	3.39
	Seilbahn	2	0.66	0.85	1.03

Tabelle 20: Statistische Kenngrößen (in V/m) der gesamten HF-EMF-Exposition in landwirtschaftlichen Gebieten (RMS und Peak). "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte pro Messumgebungstyp. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

landwirtschaftliches Gebiet* RMS	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunk Sender	3	485	0.08	0.17	0.48	0.79	1.33	1.88	2.46
landwirtschaftliches Gebiet ohne Rundfunk Sender	6	1015	0.02	0.03	0.07	0.11	0.16	0.31	0.53
landwirtschaftliches Gebiet* Peak	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunk Sender	3	484	0.12	0.38	1.29	2.81	5.71	8.84	12.27
landwirtschaftliches Gebiet ohne Rundfunk Sender	6	1014	0.07	0.11	0.23	0.44	0.83	1.62	3.40

Tabelle 21: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS und Peak) in landwirtschaftlichen Gebieten. 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.

landwirtschaftliches Gebiet* RMS	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunk Sender	3	485	1.07	0.3	0.0	0.0	99.7	0.0	0.0
landwirtschaftliches Gebiet ohne Rundfunk Sender	6	1015	0.15	56.9	0.1	0.4	42.1	0.4	0.1
landwirtschaftliches Gebiet* Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunk Sender	3	484	4.57	0.9	0.0	0.0	99.1	0.0	0.0
landwirtschaftliches Gebiet ohne Rundfunk Sender	6	1014	0.80	76.6	0.0	0.8	20.2	1.6	0.0

Tabelle 22: Bereich der mittleren Belastung der RMS und Peak HF-EMF Messungen in landwirtschaftlichen Gebieten. 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.

landwirtschaftliches Gebiet* RMS	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunk Sender	3	0.59	1.02	1.26
landwirtschaftliches Gebiet ohne Rundfunk Sender	20	0.03	0.18	0.55
landwirtschaftliches Gebiet* Peak	N	Min (V/m)	Mittelwerte des RMS (V/m)	Max (V/m)
landwirtschaftliches Gebiet mit Rundfunk Sender	3	1.19	4.10	5.71
landwirtschaftliches Gebiet ohne Rundfunk Sender	6	0.29	0.72	1.21

3.1.2 Allgemeiner Überblick - NF-Exposition

Tabelle 23: 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	urbanes Stadtzentrum	10	1675	0.02	0.05	0.11	0.19	0.32	0.62	1.69
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1613	0.02	0.05	0.10	0.18	0.28	0.57	1.43
	Industriegebiet	14	2411	0.01	0.02	0.06	0.14	0.35	1.52	6.87
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2986	0.01	0.03	0.08	0.14	0.26	0.54	1.66
	suburbanes Stadtzentrum	21	3380	0.02	0.03	0.07	0.13	0.26	0.55	1.52
	ländliches Stadtzentrum	13	2067	0.01	0.02	0.05	0.12	0.20	0.44	1.53
	ländliches Wohngebiet	20	3177	0.01	0.02	0.04	0.09	0.16	0.33	3.49
	suburbanes Wohngebiet	29	4794	0.01	0.02	0.04	0.09	0.18	0.40	1.87
	Naturgebiet	3	469	0.01	0.02	0.02	0.06	0.14	0.35	1.69
	Sport-/Freizeitgebiet	4	657	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.23	0.99
landwirtschaftliches Gebiet*	9	1498	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.18	1.18	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Bahnhof	28	2604	0.02	0.04	0.12	0.39	1.00	2.99	16.26
	Tramhaltestelle	4	433	0.04	0.06	0.10	0.20	0.34	0.54	1.16
	Bushaltestelle	22	2013	0.02	0.03	0.09	0.16	0.28	0.60	2.23
	ETH/UNI/FH	6	860	0.02	0.02	0.03	0.14	0.36	0.87	2.35
	Supermarkt	11	1231	0.02	0.02	0.04	0.06	0.09	0.20	0.69
	Restaurant	18	3381	0.01	0.02	0.03	0.05	0.13	0.45	1.40
	Bibliothek	1	128	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.15	0.25
	Schule	16	2234	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.35
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
	Zug	97	26424	0.01	0.06	0.20	0.44	1.21	5.87	21.77
	Tram	7	787	0.02	0.05	0.09	0.18	0.34	1.02	4.52
	Bus	57	5947	0.01	0.03	0.05	0.08	0.15	0.46	5.94
	Metro	3	186	0.02	0.02	0.03	0.05	0.09	0.20	0.56
	Seilbahn	2	141	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.15

Tabelle 24: 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	urbanes Stadtzentrum	10	1675	0.31	3.9	93.2	3.0
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	1613	0.28	4.1	93.3	2.6
	Industriegebiet	14	2411	0.71	12.9	86.3	0.7
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	2986	0.26	40.6	59.4	0.0
	suburbanes Stadtzentrum	21	3380	0.26	25.8	74.1	0.1
	ländliches Stadtzentrum	13	2067	0.22	21.7	78.2	0.1
	ländliches Wohngebiet	20	3177	0.18	9.6	90.3	0.1
	suburbanes Wohngebiet	29	4794	0.20	40.1	59.8	0.1
	Naturgebiet	3	469	0.20	91.9	8.0	0.1
	Sport-/Freizeitgebiet	4	657	0.12	12.3	87.0	0.7
landwirtschaftliches Gebiet*	9	1498	0.09	16.8	82.9	0.3	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	n	RMS (µT)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
	Bahnhof	28	2604	1.60	99.2	0.8	0.0
	Tramhaltestelle	4	433	0.29	2.7	56.5	40.8
	Bushaltestelle	22	2013	0.30	42.3	56.4	1.3
	ETH/UNI/FH	6	860	0.39	98.2	1.8	0.0
	Supermarkt	11	1231	0.10	22.4	77.2	0.4
	Restaurant	18	3381	0.19	51.7	48.2	0.1
	Bibliothek	1	128	0.06	4.9	94.1	1.0
	Schule	16	2234	0.07	74.0	25.2	0.8
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	n	RMS (µT)	Eisenbahnstrom (16.6 Hz)	Stromversorgung (50 Hz)	Tram-Rippelstrom (300 Hz)
	Zug	97	26424	2.47	99.7	0.3	0.0
	Tram	7	787	0.55	34.5	37.4	28.2
	Bus	57	5947	0.32	80.4	17.9	1.7
	Metro	3	186	0.11	79.5	18.1	2.4
	Seilbahn	2	141	0.03	16.9	79.7	3.4

Tabelle 25: Bereich der mittleren Belastung der NF-MF Messungen der verschiedenen Messumgebungen. Der Mittelwert wird nach Gleichung (10) berechnet. Das Minimum und Maximum zeigen jeweils den tiefsten und höchsten Mittelwert pro einzelne Messumgebung. "N" bezeichnet die Anzahl der enthaltenen Mikroumgebungen.

	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
Mikroumgebungen	Industriegebiet	14	0.07	0.34	1.48
	urbanes Stadtzentrum	10	0.17	0.25	0.31
	urbanes zentrales Wohngebiet	10	0.15	0.23	0.32
	urbanes dezentrales Wohngebiet	18	0.06	0.20	0.33
	suburbanes Stadtzentrum	21	0.08	0.19	0.32
	ländliches Stadtzentrum	13	0.07	0.16	0.25
	suburbanes Wohngebiet	29	0.06	0.14	0.32
	ländliches Wohngebiet	20	0.07	0.12	0.32
	Naturgebiet	3	0.02	0.11	0.22
	landwirtschaftliches Gebiet*	9	0.02	0.06	0.08
Sport-/Freizeitgebiet	4	0.02	0.06	0.10	
öffentliche Bereiche	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
	Bahnhof	28	0.07	0.96	6.26
	ETH/UNI/FH	6	0.03	0.26	0.60
	Tramhaltestelle	4	0.09	0.25	0.35
	Bushaltestelle	22	0.03	0.22	0.50
	Restaurant	18	0.02	0.13	0.36
	Supermarkt	11	0.04	0.08	0.18
	Schule	16	0.02	0.06	0.14
	Bibliothek	1	0.05	0.05	0.05
Verkehrsmittel	Messumgebung	N	Minimum des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Mittelwert des arithmetischen Mittelwerts (μT)	Maximum des arithmetischen Mittelwerts (μT)
	Zug	97	0.03	1.23	8.99
	Tram	7	0.09	0.26	0.46
	Bus	57	0.04	0.16	0.45
	Metro	3	0.05	0.07	0.10
	Seilbahn	2	0.02	0.03	0.03

3.1.3 Zusätzliche Analysen in Zügen - HF- und NF-Exposition

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

Zug Belegung RMS	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
hoch	7	1802	0.12	0.22	0.33	0.44	0.61	0.94	1.99
mittel	32	9294	0.04	0.14	0.22	0.31	0.46	0.74	2.13
tief	58	15384	0.01	0.04	0.11	0.17	0.27	0.53	3.04
Zug Belegung Peak	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
hoch	7	1802	0.51	1.24	2.04	3.01	4.09	6.38	10.37
mittel	32	9295	0.23	0.79	1.34	1.96	2.92	4.97	17.42
tief	58	15389	0.03	0.17	0.65	1.15	1.85	3.29	18.88

Tabelle 27: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen HF-Quellen (DL = downlink, UL = uplink, TDD = time division duplex) der gesamten HF-EMF-Exposition (RMS und Peak) nach Zugbelegung. 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.

Zug Belegung RMS	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
hoch	7	1802	0.55	12.6	53.6	13.0	0.1	20.6	0.1
mittel	32	9294	0.41	40.1	39.9	5.6	0.4	13.9	0.1
tief	58	15384	0.30	61.9	22.2	2.7	2.5	10.6	0.1
Zug Belegung Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
hoch	7	1802	3.67	6.5	35.4	33.7	0.0	24.2	0.1
mittel	32	9295	2.69	30.9	30.8	19.6	0.2	18.3	0.1
tief	58	15389	1.84	42.6	24.5	10.5	0.9	21.6	0.1

Tabelle 28: Statistische Kenngrößen (in µT) der gesamten NF-MF-Exposition nach Zugbelegung. "n" bezeichnet die Anzahl Datenpunkte nach Zugbelegung. "N" bezeichnet die Anzahl der gemessenen Messumgebungen desselben Typs.

Zug Belegung NF	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
tief	58	15351	0.01	0.06	0.22	0.52	1.51	5.88	20.33
hoch	7	1799	0.02	0.06	0.18	0.37	0.81	5.70	19.51
mittel	32	9274	0.02	0.07	0.17	0.37	0.89	5.87	21.77

Tabelle 29: Mittlerer Beitrag (%) der verschiedenen NF Quellen (Eisenbahnstrom, Stromversorgung, Tram-Rippelstrom) der gesamten NF-MF-Exposition nach Zugbelegung. 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.

Zug Belegung NF	N	n	RMS (µT)	Eisenbahnstrom	Stromversorgung	Tram-Rippelstrom
tief	58	15351	2.47	99.8	0.2	0.0
hoch	7	1799	2.47	99.6	0.4	0.0
mittel	32	9274	2.48	99.9	0.1	0.0

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

Tabelle 30: 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 - aussen mit Schüler*innen	4	577	0.06	0.08	0.12	0.20	0.28	0.60	1.36
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	761	0.02	0.03	0.06	0.10	0.25	0.47	1.13
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	1	101	0.02	0.03	0.05	0.09	0.14	0.25	0.44
Korridor	5	686	0.02	0.02	0.03	0.05	0.10	0.19	0.49
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	1	114	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.09	0.12
Schule Peak	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	4	577	0.20	0.37	0.62	1.12	1.62	3.50	5.02
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	1	101	0.09	0.21	0.39	0.69	1.30	2.61	5.49
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	762	0.08	0.11	0.27	0.52	1.31	2.70	5.72
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	1	114	0.07	0.10	0.25	0.45	0.86	1.83	4.05
Korridor	4	687	0.06	0.09	0.17	0.30	0.51	1.07	9.61

Tabelle 31: 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 - aussen mit Schüler*innen	4	577	0.29	72.9	1.3	1.7	21.2	2.7	0.2
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	761	0.23	78.2	0.1	1.5	17.6	1.8	0.7
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	1	101	0.13	0.4	30.1	0.1	0.6	68.7	0.0
Korridor	5	686	0.09	47.5	2.7	0.7	21.3	27.5	0.3
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	1	114	0.04	1.3	1.6	1.0	5.4	90.4	0.2
Schule Peak	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	4	577	1.63	68.6	1.3	16.7	11.4	1.9	0.1
Pausenplatz - innen mit Schüler*innen	1	101	1.34	0.1	4.2	0.0	0.1	95.6	0.0
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	762	1.28	79.3	0.1	12.0	6.9	1.5	0.1
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	1	114	0.94	0.0	0.1	0.1	0.1	99.7	0.0
Korridor	5	687	0.67	39.4	0.9	1.8	5.5	52.2	0.2

Tabelle 32: 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 mit Schüler*innen	1	101	0.02	0.02	0.03	0.05	0.11	0.13	0.16
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	1	114	0.02	0.02	0.03	0.04	0.07	0.12	0.18
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	4	574	0.01	0.02	0.02	0.04	0.08	0.16	0.24
Korridor	5	687	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.17	0.35
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	758	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.16	0.29

Tabelle 33: 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 mit Schüler*innen	1	101	0.08	2.9	96.5	0.6
Pausenplatz - innen ohne Schüler*innen	1	114	0.06	82.7	16.5	0.8
Pausenplatz - aussen mit Schüler*innen	4	574	0.08	82.9	16.4	0.7
Korridor	5	687	0.07	78.1	21.1	0.8
Pausenplatz - aussen ohne Schüler*innen	5	758	0.07	4.6	94.3	1.0

IV Statistische Kenngrößen der Spotmessungen

4.1 Statistische Kenngrößen der HF-Exposition

Tabelle 34: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der RMS HF elektrischen Gesamtfeldstärke für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 20 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)							
Messungstyp	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Kurzzeitmessung	Mobilfunk	16	960	0.03	0.04	0.08	0.16	0.29	0.57	1.23
Radio/TV 50 bis 200 kW		1	60	0.19	0.19	0.2	0.26	0.28	0.31	0.38	0.08
keine HF-Primärquelle		14	840	0.04	0.04	0.09	0.13	0.19	0.27	0.43	0.10
Primärquelle		N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
mobile Messung	Mobilfunk	16	1480	0.02	0.04	0.08	0.13	0.24	0.6	1.76	0.16
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	100	0.05	0.05	0.08	0.12	0.2	0.27	0.42	0.12
	keine HF-Primärquelle	14	1400	0.02	0.03	0.05	0.08	0.14	0.39	1.13	0.09
	Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max	IQR
Langzeitmessung	Mobilfunk	16	138297	0.02	0.04	0.06	0.12	0.18	0.88	1.79	0.12
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	8659	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.35	0.02
	keine HF-Primärquelle	14	121014	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.93	1.63	0.07

Tabelle 35: Prozentuale Beiträge verschiedener Funkdienstgruppen zur elektrischen Gesamtfeldstärke, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 20 dargestellt. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (7). Es werden folgende Frequenzbandgruppen berücksichtigt: Downlink (DL), Uplink (UL), Time-Division-Duplex (TTD), Rundfunk, WLAN und DECT. N bezeichnet die Anzahl an Standortmessungen und die Anzahl an ausgewerteten Datenpunkten pro Primärquelle ist unter n gelistet. Der quadratische Mittelwert (RMS) der Gesamtfeldstärke wird anhand von Gleichung (4) berechnet.

Messungstyp	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TTD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Kurzzeitmessung	Mobilfunk	16	960	0.27	77.8	0.4	0.7	9.3	9.3
Radio/TV 50 bis 200 kW		1	60	0.25	2	0.1	0	50.5	44.8	2.6
keine HF-Primärquelle		14	840	0.16	26.3	0.7	0.2	26.8	36	10
Primärquelle		N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TTD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
mobile Messung	Mobilfunk	16	1480	0.27	78.7	0.1	0.5	13.2	7.2	0.3

	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	100	0.16	5.3	0.1	0.2	62	29.7	2.7
	keine HF-Primärquelle	14	1400	0.18	46.1	1.7	0.6	31.3	17.4	2.9
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	RMS (V/m)	DL (%)	UL (%)	TDD (%)	Rundfunk (%)	WLAN (%)	DECT (%)
	Mobilfunk	16	138297	0.35	92.7	0.1	1.1	5.2	0.4	0.5
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	8659	0.07	8.8	1.2	0.4	63.7	12.9	13.1
	keine HF-Primärquelle	14	121014	0.28	54.1	1	0.5	42.1	2.1	0.1

Tabelle 36: 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 21 dargestellt. Die Anzahl an Messpunkten wird mit n bezeichnet und die Anzahl an Standortmessungen wird durch N ausgedrückt.

Kurzzeitmessung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	16	960	0.04	0.21	0.61
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	60	0.25	0.25	0.25
	keine HF-Primärquelle	14	840	0.04	0.15	0.26
mobile Messung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	16	1480	0.07	0.21	0.66
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	100	0.16	0.16	0.16
	keine HF-Primärquelle	14	1400	0.05	0.15	0.43
Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
	Mobilfunk	16	138297	0.05	0.2	1.23
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	8659	0.07	0.07	0.07
	keine HF-Primärquelle	14	121014	0.03	0.15	0.98

Tabelle 37: 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 22 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	16	960	0.26	1.42
Radio/TV 50 bis 200 kW		1	60	2.4	2.4	2.4
keine HF-Primärquelle		14	840	0.22	1.46	4.6
Primärquelle		N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
mobile Messung	Mobilfunk	16	1480	0.47	1.5	4.07
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	100	1.47	1.47	1.47
	keine HF-Primärquelle	14	1400	0.26	1.23	3.15
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)
Langzeitmessung	Mobilfunk	16	138297	0.21	1.21	7.43
	Radio/TV 50 bis 200 kW	1	8659	0.46	0.46	0.46
	keine HF-Primärquelle	14	121014	0.12	1.05	7.04
	Primärquelle	N	n	Min (V/m)	Mittelwert des RMS (V/m)	Max (V/m)

4.2 Statistische Kenngrößen der NF-Exposition

Tabelle 38: Statistische Kenngrößen für die Verteilung der NF-MF magnetischen Gesamtflussdichte für alle Teilmessungen, wie in der linken Hälfte von Abbildung 23 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	Median	Q75	Q95	max	IQR
	Kurzzeitmessung	Eisenbahnlinien 2sp	3	180	0.02	0.04	0.06	0.1	0.19	0.4	1.02
Eisenbahnlinien 1sp		3	180	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.15	0.44	0.03
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
220/380kV Freileitung		3	180	0.04	0.05	0.06	0.27	1.65	1.67	1.68	1.59
36-150kV Freileitung		2	120	0.02	0.02	0.02	0.09	0.18	0.23	0.28	0.16
Trafostationen		1	60	0.04	0.04	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.04
keine NF-Primärquelle		17	1020	0.02	0.02	0.04	0.05	0.09	0.19	0.48	0.05
		Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
mobile Messung	Eisenbahnlinien 2sp	3	300	0.03	0.04	0.07	0.1	0.18	0.35	0.93	0.11
	Eisenbahnlinien 1sp	3	300	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.13	0.34	0.03
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	100	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
	220/380kV Freileitung	3	300	0.04	0.04	0.05	0.33	1.22	1.85	2.07	1.17
	36-150kV Freileitung	2	200	0.02	0.02	0.02	0.07	0.16	0.21	0.26	0.14
	Trafostationen	1	100	0.03	0.04	0.05	0.07	0.1	0.13	0.16	0.05
	keine NF-Primärquelle	17	1617	0.01	0.02	0.04	0.05	0.1	0.21	0.56	0.06
		Primärquelle	N	n	min	Q05	Q25	Median	Q75	Q95	max
Langzeitmessung	Eisenbahnlinien 2sp	3	25920	0.02	0.03	0.05	0.07	0.12	0.28	1.11	0.07
	Eisenbahnlinien 1sp	3	25920	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.16	0.78	0.04
	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
	220/380kV Freileitung	3	25823	0.01	0.03	0.11	0.3	1.51	1.86	2.07	1.4
	36-150kV Freileitung	2	17280	0.01	0.02	0.03	0.09	0.18	0.22	1.87	0.15

Trafostationen	1	8640	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.15	0.45	0.04
keine NF-Primärquelle	17	146880	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.19	1.26	0.06

Tabelle 39: Prozentuale Beiträge verschiedener NF-MF Quellen zur magnetischen Gesamtflussdichte, wie in der rechten Hälfte von Abbildung 23 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.

	Primärquelle	N	n	RMS (μ T)	Eisenbahnstrom (%)	Stromversorgung (%)	Tram-Rippelstrom (%)
Kurzzeitmessung	Eisenbahnlinien 2sp	3	180	0.22	99.2	0.7	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	3	180	0.09	85.5	14	0.5
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	60	0.27	75.5	24.5	0
	Tramlinien	1	60	0.04	65.5	31.6	3
	220/380kV Freileitung	3	180	0.97	0	100	0
	36-150kV Freileitung	2	120	0.13	34.9	64.9	0.2
	Trafostationen	1	60	0.1	23.1	76.7	0.2
	keine NF-Primärquelle	17	1020	0.1	66.9	32.7	0.4
mobile Messung	Eisenbahnlinien 2sp	3	300	0.18	98.1	1.8	0.1
	Eisenbahnlinien 1sp	3	300	0.08	79.2	20.2	0.6
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	100	0.26	70.1	29.8	0.1
	Tramlinien	1	100	0.09	66.4	30.7	3
	220/380kV Freileitung	3	300	0.9	0	100	0
	36-150kV Freileitung	2	200	0.12	34.4	65.3	0.3
	Trafostationen	1	100	0.08	23.7	75.9	0.4
	keine NF-Primärquelle	17	1617	0.11	60.7	38.9	0.4
Langzeitmessung	Eisenbahnlinien 2sp	3	25920	0.14	97.4	2.4	0.2
	Eisenbahnlinien 1sp	3	25920	0.09	86.3	13.2	0.5
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	8640	0.21	58.9	41	0.1

	Tramlinien	1	8640	0.13	78.7	17.4	4
	220/380kV Freileitung	3	25823	0.97	0	100	0
	36-150kV Freileitung	2	17280	0.13	25.3	74.5	0.2
	Trafostationen	1	8640	0.09	12.2	87.5	0.3
	keine NF-Primärquelle	17	146880	0.1	54	45.6	0.4

Tabelle 40: 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 24 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	3	180	0.07	0.16	0.27
	Eisenbahnlinien 1sp	3	180	0.05	0.07	0.08
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	60	0.25	0.25	0.25
	Tramlinien	1	60	0.04	0.04	0.04
	220/380kV Freileitung	3	180	0.05	0.66	1.66
	36-150kV Freileitung	2	120	0.02	0.1	0.19
	Trafostationen	1	60	0.09	0.09	0.09
	keine NF-Primärquelle	17	1020	0.03	0.07	0.24
mobile Messung	Eisenbahnlinien 2sp	3	300	0.08	0.14	0.2
	Eisenbahnlinien 1sp	3	300	0.04	0.06	0.08
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	100	0.25	0.25	0.25
	Tramlinien	1	100	0.07	0.07	0.07
	220/380kV Freileitung	3	300	0.05	0.62	1.48
	36-150kV Freileitung	2	200	0.02	0.09	0.16
	Trafostationen	1	100	0.08	0.08	0.08
	keine NF-Primärquelle	17	1617	0.02	0.08	0.24

Langzeitmessung	Primärquelle	N	n	Minimum des arithmetischen Mittels (μT)	Mittelwert des Arithmetischen Mittels (μT)	Maximum des arithmetischen Mittels (μT)
	Eisenbahnlinien 2sp	3	25920	0.07	0.1	0.15
	Eisenbahnlinien 1sp	3	25920	0.04	0.06	0.09
	Eisenbahnlinien 1sp Tunnel	1	8640	0.19	0.19	0.19
	Tramlinien	1	8640	0.11	0.11	0.11
	220/380kV Freileitung	3	25823	0.07	0.68	1.65
	36-150kV Freileitung	2	17280	0.03	0.1	0.17
	Trafostationen	1	8640	0.08	0.08	0.08
	keine NF-Primärquelle	17	146880	0.02	0.07	0.19

V Liste der Standorte von Spotmessungen

Tabelle 41: 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_SN025	Gonten	36-150kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp001	Lungern	220/380kV Freileitung	Bauernhaus	Wohnen	Wohnen	nicht unterkellert
spot_mp002	Münchenstein	220/380kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unterkellert
spot_mp003	Münchenstein	Tramlinien	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp005	Dübendorf	Eisenbahnlinien 2sp	Zweifamilienhaus	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp013	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	keine	Wohnen
spot_mp013A	Zürich	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
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_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_mp040	Landquart	Mobilfunk	MFH	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp041	Erstfeld	Eisenbahnlinien 2sp	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Keller
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_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	36-150kV Freileitung	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	Wohnen
spot_mp055	Winterthur	220/380kV Freileitung	Reihenhaus	Wohnen	Estrich	Wohnen
spot_mp061	Solothurn	Trafostationen	MFH	Wohnen	Wohnen	Keller
spot_mp064	Igis	Radio/TV 50 bis 200 kW	EFH freistehend	Wohnen	Wohnen	nicht unterkellert

Tabelle 42: 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_SN025	EG	Wohnen	3	10	OG1	Nachttisch
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_mp013	DG	Wohnen	1	6	DG	Nachttisch
spot_mp013A	EG	Büro/Arbeitszimmer	1	2	EG	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_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_mp040	OG4	Wohnen	1	5	OG4	Stuhl neben Bett
spot_mp041	OG1	Wohnen	1	7	EG	Nachttisch
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_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_mp061	EG	Wohnen	1	4	EG	Nachttisch
spot_mp064	OG1	Wohnen	2	10	EG	Nachttisch