



REPORT

Messung und Bewertung der Exposition durch elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich 150 – 500 kHz, verursacht durch Smart Meter

Abschlussbericht

Gernot Schmid, Pia Schneeweiß

28.06.2023

V1.1

28. Juni 2023

Messung und Bewertung der Exposition durch elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich 150 – 500 kHz, verursacht durch Smart Meter

Abschlussbericht

Auftraggeber

Salzburg Netz GmbH
Bayerhamerstraße 16, 5020 Salzburg
Auftrag 45461160

Gernot Schmid, Pia Schneeweiß

Seibersdorf Labor GmbH
Geschäftsfeld EMC & Optics
Fachbereich Elektromagnetische Verträglichkeit
A-2444 Seibersdorf

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund und Aufgabenstellung

Um die zufolge von PLC-basierten Smart Metern der Salzburg Netz GmbH in häuslicher Umgebung verursachte Exposition von Personen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern zu erfassen, wurden systematische Immissionsmessungen in einem Einfamilienhaus und in einem Mehrparteienhaus durchgeführt und die gemessenen Immissionen auf Basis der gegenwärtig in Österreich anzuwendenden Referenzwerte nach Richtlinie OVE R 23-1 [1] bewertet.

Immissionsmessungen

Die Messungen wurden an jeweils mehreren Messpositionen in einem Einfamilienhaus in A-5431 Kuchl und in drei Wohnungen sowie unmittelbar vor dem Zählerschrank in einem Mehrparteienhaus in A-5302 Henndorf durchgeführt. Alle in den betrachteten Objekten installierten Smart Meter arbeiten ausschließlich mit Datenübertragung im FCC Band (150 kHz – 500 kHz). Im Einfamilienhaus war der Smart Meter in einem Zählerschrank im Kellergeschoß installiert. Im Mehrparteienhaus waren alle Smart Meter (aller Hausparteien) konzentriert in einem Zählerschrank im Stiegenhaus untergebracht. Um die Aussagekraft der Immissionsmessungen zu erhöhen, wurden im Durchführungszeitraum der Messungen regelmäßig und in kurzen Zeitabständen Datenabfragen vom Netzbetreiber durchgeführt, so dass die Häufigkeit des Sendens von Datenpaketen durch den Smart Meter gegenüber dem typischen Betrieb deutlich erhöht wurde. Sowohl im Einfamilienhaus als auch in den betrachteten Wohnungen des Mehrparteienhauses wurden jeweils spezifizierte Messpunkte in unmittelbarer Nähe des Zähler- bzw. Verteilerschanks sowie in typischen Aufenthaltsbereichen (Küche, Wohnzimmer, Schlafplatz) betrachtet. Mittels aktiver elektrischer und magnetischer Antennen wurde jeweils das Zeitsignal der elektrischen und magnetischen Feldstärke aufgezeichnet, um eine Bewertung der Messergebnisse basierend auf vollständigen Informationen zu gewährleisten.

Ergebnis

In üblichen Aufenthaltsbereichen lagen die von Smart Metern verursachten Immissionsanteile der magnetischen Flussdichte bei kleiner oder gleich 0.044 % der Referenzwerte im Hinblick auf sensorische Wirkungen (Reizwirkungen) gemäß OVE R 23-1. Die entsprechenden Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte im Sendefrequenzbereich der Smart Meter lagen im Bereich 1.0 – 16.9 nT. In unmittelbarer Nähe zum Smart Meter im Einfamilienhaus wurde der Maximalwert von 0.54 % der oben genannten Referenzwerte ermittelt (Spitzenwert der magnetischen Flussdichte 178 nT). Mit Ausnahme der Messposition in unmittelbarer Nähe zu den Smart Metern waren die von Smart Metern verursachten magnetischen Immissionsanteile im Vergleich zu Immissionsbeiträgen anderer Quellen, selbst ohne Betrieb elektrischer Verbraucher in der Nähe der Messpositionen, vernachlässigbar gering.

Die von Smart Metern verursachten Immissionsanteile der elektrischen Feldstärke lagen in üblichen Aufenthaltsbereichen bei ca. 3.1 % der Referenzwerte im Hinblick auf sensorische Wirkungen (Reizwirkungen) gemäß OVE R 23-1. Die entsprechenden Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke im Sendefrequenzbereich der Smart Meter lagen im Bereich 0.7 – 3.6 V/m. In unmittelbarer Nähe zum Smart Meter wurde ein Maximalwert von 5.8 % der genannten Referenzwerte ermittelt (Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke 6.4 V/m). Mit Ausnahme der Messposition in unmittelbarer Nähe zu den Smart Metern waren die von Smart Metern verursachten elektrischen Immissionsanteile in der gleichen Größenordnung wie die Immissionsbeiträge anderer Quellen.

In allen Fällen zeigten sich die vom jeweiligen Smart Meter verursachten Immissionsanteile hinsichtlich der Ausschöpfung der Referenzwerte zur Vermeidung von thermischen Wirkungen deutlich weniger relevant als im Hinblick auf die Referenzwerte zur Vermeidung von nicht-thermischen sensorischen Wirkungen (Reizwirkungen).

Die Messdaten zeigten keinen Trend dahingehend, dass in Mehrparteienhäusern zufolge der größeren Anzahl (Dichte) von installierten Smart Metern höhere Immissionen zu erwarten wären als in Einfamilienhäusern.

Weiters zeigten die Langzeitmessungen, die an unterschiedlichen Gateways in Trafostationen sowie in einem Einfamilienhaus durchgeführt wurden, dass die von den Smart Metern ausgesendeten Bursts nur relativ selten auftreten. Ausgehend von den erhobenen Messdaten ist anzunehmen, dass die über längere Zeit gemittelte relative Sendezeit der Smart Meter in einzelnen Haushalten typischerweise bei weniger als 0.2% liegt, d.h. die Gesamt-Sendezeit liegt typischerweise bei weniger als ca. 3 Minuten binnen 24 Stunden.

INHALT

1 HINTERGRUND UND AUFGABENSTELLUNG.....	6
1.1 Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern	6
1.2 Konkrete Aufgabenstellung.....	8
2 IMMISSIONSMESSUNGEN.....	9
2.1 Mess- und Bewertungsmethoden	9
2.2 Messunsicherheit	10
2.3 Installierte Smart Meter und untersuchte Messpositionen	10
3 MESSERGEBNISSE	12
3.1 Messungen in einem Einfamilienhaus.....	12
3.1.1 Betrachtete Messpositionen	12
3.1.2 Ergebnisse	14
3.2 Messungen in einem Mehrparteienhaus.....	22
3.2.1 Betrachtete Messpositionen	22
3.2.2 Messergebnisse	28
3.3 Messungen der Auftrittshäufigkeit der Smart Meter Bursts	37
4 GESAMTBEWERTUNG DER IMMISSIONSDATEN	40
5 LITERATUR	44
ANHANG A:	45
ANHANG B:	49

1 HINTERGRUND UND AUFGABENSTELLUNG

1.1 Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern

Für die Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gilt in Österreich seit April 2017 die OVE Richtlinie R 23-1 [1] als Stand der Technik (Ersatz für ÖNORM E8850). Zur Vermeidung von nicht-thermischen biologischen Wirkungen (Reizwirkungen) sind darin im Frequenzbereich bis 10 MHz Basisgrenzwerte in Form der im Körpergewebe induzierten (intra-korporalen) elektrischen Feldstärke E_i festgelegt. Zum Schutz vor thermischen biologischen Wirkungen im Frequenzbereich von 100 kHz bis 10 GHz werden in OVE R 23-1 Basisgrenzwerte in Form der im Körpergewebe auftretenden spezifischen Absorptionsrate SAR definiert. Zusätzlich werden Referenzwerte für die äußere (einer Routinemessung gut zugänglichen) elektrische Feldstärke E und die äußere magnetische Feldstärke H (bzw. magnetische Flussdichte B) festgelegt, die unter konservativen Annahmen (maximale Feldeinkopplung in den Körper) aus den Basisgrenzwerten abgeleitet wurden. Bei Einhaltung der Referenzwerte kann demnach auch von der Einhaltung der Basisgrenzwerte ausgegangen werden. Umgekehrt folgt aus einer Überschreitung der Referenzwerte aber nicht zwangsläufig auch eine Überschreitung der Basisgrenzwerte, da in der Praxis die bei der Ableitung der Referenzwerte zugrunde gelegten konservativen Bedingungen zumeist nicht zutreffen. Eine Überschreitung der Referenzwerte zeigt daher zunächst nur an, dass eine endgültige Bewertung der Expositionssituation nur auf Grundlage der Basisgrenzwerte erfolgen kann, was im Allgemeinen sehr aufwändig ist. In diesem Sinne ist eine Expositionsbewertung auf Basis der Referenzwerte als konservative erste Abschätzung der Exposition zu sehen. Die tatsächliche Exposition im Sinne der Ausschöpfung der intra-korporal zulässigen Werte für E_i und SAR liegt dabei in der Praxis zumeist deutlich unter jenen Werten, die durch das Verhältnis der Immissionsmesswerte (für E oder B) zu den zugehörigen Referenzwerten ausgedrückt wird. Tabelle 1.1 bis Tabelle 1.4 fassen die in OVE R 23-1 festgelegten Basisgrenzwerte und Referenzwerte zusammen.

Tabelle 1.1: Basisgrenzwerte gemäß OVE R 23-1 zum Schutz vor nicht-thermischen Wirkungen (Reizwirkungen).

Gewebe	Frequenzbereich	Basisgrenzwert für E_i [V/m] Effektivwerte
Zentralnervensystem ZNS	1 Hz $\leq f < 10$ Hz	0.1 / f
	10 Hz $\leq f < 25$ Hz	0.01
	25 Hz $\leq f \leq 1000$ Hz	$4 \times 10^{-4} \times f$
	1 kHz $\leq f < 3$ kHz	0.4
	3 kHz $\leq f \leq 10$ MHz	$1.35 \times 10^{-4} \times f$
Alle Gewebe	1 kHz $\leq f < 3$ kHz	0.4
	3 kHz $\leq f \leq 10$ MHz	$1.35 \times 10^{-4} \times f$
f ... Frequenz in Hz		

Tabelle 1.2: Basisgrenzwerte gemäß OVE R 23-1 zum Schutz vor thermischen Wirkungen im Frequenzbereich bis 10 GHz.

Körperregion	Frequenzbereich	Basisgrenzwert SAR [W/kg]
Ganzkörpermittelwert ^{a)}	100 kHz \leq f $<$ 10 GHz	0.08
Kopf und Rumpf ^{b)}		2.0
Gliedmaßen ^{b)}		4.0

^{a)} Gesamte im Körper absorbierte Strahlungsleistung dividiert durch Körpermasse
^{b)} Maximalwert der über 10 g würfelförmiges Körpergewebe gemittelten SAR

Tabelle 1.3: Referenzwerte für die äußere elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte gemäß OVE R 23-1 zum Schutz vor nicht-thermischen Wirkungen (Reizwirkungen).

Frequenzbereich	Referenzwerte (Effektivwerte)	
	E [V/m]	B [μ T]
0 Hz \leq f $<$ 0,1 Hz	5×10^3	4×10^5
0,1 Hz \leq f $<$ 1 Hz	5×10^3	$4 \times 10^4 / f$
1 Hz \leq f $<$ 8 Hz	5×10^3	$4 \times 10^4 / f^2$
8 Hz \leq f $<$ 25 Hz	5×10^3	$0.5 \times 10^4 / f$
25 Hz \leq f $<$ 50 Hz	5×10^3	200
0.05 kHz \leq f $<$ 0.4 kHz	$250 / f$	200
0.4 kHz \leq f $<$ 3 kHz	$250 / f$	$80 / f$
3 kHz \leq f \leq 10 MHz	83	27

f ... Frequenz in jeweiliger Einheit, wie in der Frequenzbereichsspalte angegeben

Tabelle 1.4: Referenzwerte für die äußere elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte gemäß OVE R 23-1 zum Schutz vor thermischen Wirkungen.

Frequenzbereich	Referenzwerte (Effektivwerte)	
	E [V/m]	B [μ T]
0.1 MHz \leq f $<$ 1 MHz	87	$0.92 / f$
1 MHz \leq f $<$ 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.92 / f$
10 MHz \leq f $<$ 400 MHz	28	0.092
400 MHz \leq f $<$ 2000 MHz	$1.375 \times f^{1/2}$	$0.0046 \times f^{1/2}$
2 GHz \leq f \leq 300 GHz	61	0.2

f ... Frequenz in jeweiliger Einheit, wie in der Frequenzbereichsspalte angegeben

Vor dem Vergleich mit den angegebenen Referenzwerten sind die Quadrate der Immissionsgrößen (E, H oder B) über beliebige 6 Minuten Zeitintervalle zu mitteln.

Zur Beurteilung der einwirkenden Feldgrößen werden in OVE R 23-1 die folgenden Expositionsquotienten EQS (für nicht-thermische, d.h. sensorische Wirkung bzw. Reizwirkung) und EQT (für thermische Wirkung) wie folgt definiert:

$$EQS_E = \frac{E}{\text{Referenzwert für } E} \quad EQS_B = \frac{B}{\text{Referenzwert für } B}$$

$$EQT_E = \left(\frac{E}{\text{Referenzwert für } E} \right)^2 \quad EQT_B = \left(\frac{B}{\text{Referenzwert für } B} \right)^2$$

Einem konservativen Ansatz folgend sind gemäß OVE R 23-1 für die Bewertung der nicht-thermisch wirksamen Immissionen, EQS_E und EQS_B zum Gesamtexpositionsquotienten GEQS

$$GEQS = EQS_E + EQS_B \leq 1$$

zu addieren.

Die Bewertung der thermisch wirksamen Immissionen wird durch den größeren der beiden Expositionsquotienten EQT_E und EQT_B bestimmt:

$$GEQT = \text{Max}(EQT_E, EQT_B) \leq 1$$

Weiters handelt es sich bei den in Tabelle 1.1 bis Tabelle 1.4 angeführten Werten um Effektivwerte sinusförmiger Größen. Für Immissionsgrößen mit nicht-sinusförmigem Zeitverlauf ist sicherzustellen, dass alle Spektralkomponenten, die einen nicht-vernachlässigbaren Anteil zur Gesamtimmision beitragen, bei der Bewertung berücksichtigt werden. Um dies zu gewährleisten, stehen verschiedene, in OVE R 23-1 beschriebene Verfahren zur Verfügung. Das gegenwärtig zweckmäßigste Verfahren zur Bewertung von nicht-sinusförmigen elektrischen oder magnetischen Immissionsgrößen ist die sogenannte Methode der gewichteten Spitzenwerte (Weighted Peak Method, WPM). Dieses Verfahren, das sowohl im Zeitbereich (WPM-TD) als auch im Frequenzbereich (WPM-FD) anwendbar ist, vermeidet Überschätzungen der tatsächlichen Immissionen, wie sie bei der Bewertung auf Grundlage von stark vereinfachten Methoden (z.B. der Multifrequenzregel MFR) auftreten¹.

1.2 Konkrete Aufgabenstellung

Der zurzeit in Österreich stattfindende flächendeckende Rollout von PLC-basierten Smart Metern führt in Teilen der Bevölkerung zur Besorgnis bezüglich der von Smart Metern verursachten Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern in der Wohnumgebung. Um aussagekräftige Immissionsdaten im Realbetrieb der von der Salzburg Netz GmbH installierten Smart Meter (Sendefrequenzbereich 150 kHz – 500 kHz) zu erhalten, wurden Messungen der von Smart Metern verursachten elektrischen und magnetischen Immissionen an unterschiedlichen Positionen in einem Einfamilienhaus sowie in einem Mehrparteienhaus durchgeführt und die Messergebnisse auf Grundlage von OVE R 23-1 bewertet.

¹ Die systematischen Überschätzungen beim genannten vereinfachten Verfahren kommen durch die Vernachlässigung der Phasenbeziehungen zwischen den einzelnen Spektralkomponenten zustande. Die WPM vermeidet diese Überbewertungen, indem die Phasenbeziehungen der einzelnen Spektralkomponenten berücksichtigt werden.

2 IMMISSIONSMESSUNGEN

2.1 Mess- und Bewertungsmethoden

Eine der größten Herausforderungen bei der Messung der von Smart Metern verursachten elektrischen und magnetischen Felder ist deren geringe Intensität, im Vergleich zu den üblichen (hauptsächlich 50-Hz-dominierenden) Hintergrundfeldern. Um eine korrekte Bewertung der grundsätzlich nicht-sinusförmigen Immissionen zu ermöglichen, wurden Messverfahren verwendet, die eine vollständige Aufzeichnung des Zeitverlaufs der Immissionen erlauben.

Die dafür eingesetzten Messgeräte sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

In jedem untersuchten Messpunkt wurden unmittelbar aufeinanderfolgend Messungen der elektrischen und magnetischen Feldstärke in drei zueinander orthogonalen Raumrichtungen jeweils mit einer geschirmten aktiven Loopantenne (*Shielded Active Loop*) und einer aktiven bikonischen Dipolantenne (*Active Biconical Antenna*) durchgeführt und der Zeitverlauf der Immissionssignale mittels digitalem Speicheroszilloskop aufgezeichnet. In jeder Raumrichtung erfolgten mehrere Messungen, um zuverlässig die Immissionssignale während des Sendens des Smart Meters zu erfassen. In konservativer Vorgehensweise wurde aus jenen Aufzeichnungen in jeder Raumrichtung mit den höchsten zeitlichen Spitzenwerten der resultierende Vektor der elektrischen Feldstärke bzw. magnetischen Flussdichte gebildet.

Mithilfe des Geräts ELT400 erfolgte neben Messungen des Effektivwertes und Spitzenwertes der magnetischen Flussdichte im Frequenzbereich 5 Hz – 400 kHz in jedem Messpunkt auch die direkte Messung des Expositionsquotienten EQS_B für Reizwirkung, da WPM-TD in die Hardware implementiert wurde.

Tabelle 2.1: Auflistung und Spezifikationen der verwendeten Messgeräte.

Gerät	Hersteller	Messgröße	Frequenzbereich
Shielded Active Loop 6507	EMCO	B	9 kHz – 30 MHz
Active Biconical Antenna EFS 9218 + BBUK 9139 M4	Schwarzbeck	E	9 kHz – 300 MHz
SRM 3006 mit H-Field Probe	Narda	B	100 kHz – 250 MHz
ESM100	Maschek Elektronik	E + B	5 Hz – 400 kHz
Active Monopole 3301B	EMCO	E	9 kHz – 30 MHz
ELT400 mit 100cm ² Sonde	Narda	B	5 Hz – 400 kHz
Oszilloskop RTO 1024	Rohde & Schwarz	-	2 GHz, 10 GS/s

Das Messgerät ESM100 erlaubt die Messung der Effektivwerte sowohl der elektrischen Feldstärke als auch der magnetischen Flussdichte, wobei diese Messungen getrennt im Frequenzbereich 5 Hz – 2 kHz und 2 kHz – 400 kHz durchgeführt werden können.

Alle aufgezeichneten Zeitverläufe der Immissionen wurden hinsichtlich Reizwirkung mittels WPM (implementiert in LabViewTM) und hinsichtlich thermischer Wirkungen auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung auf Grundlage der in OVE R 23-1 festgelegten Referenzwerte bewertet.

Mit den oben beschriebenen Mess- und Bewertungsmethoden ist ein Vergleich der elektrischen und magnetischen Immissionen mit den in Kapitel 1.1 angeführten Referenzwerten möglich, die im Hinblick auf Reizwirkungen als Momentanwerte (also ohne Zeitmittelung) und im Hinblick auf thermische Wirkungen als 6-Minuten Mittelwerte zu verstehen sind. Die vom Smart Meter verursachten Immissionen treten aufgrund des

Übertragungsverfahrens bzw. -protokolls in Form von Schwingungspaketen („Bursts“) auf. Die oben beschriebenen Messmethoden zielen auf die Erfassung der maximalen Amplituden dieser Schwingungspakete ab und sind somit direkt mit den Referenzwerten hinsichtlich der Reizwirkung vergleichbar. Dennoch erscheint es aus praktischer Sicht ebenfalls interessant, wie häufig derartige Bursts der Smart Meter Kommunikation über längere Zeiträume zu erwarten sind. Aus diesem Grund wurden zusätzlich zu den Messungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte an ausgewählten Positionen in einem Einfamilienhaus sowie in einem Mehrparteienhaus Messungen der Auftrittshäufigkeit der Smart Meter Bursts am Smart Meter Gateway in sieben unterschiedlichen Trafostationen sowie in einem Einfamilienhaus durchgeführt. Die Erfassung der Smart Meter Bursts erfolgte dabei mittels eines eigens dafür entwickelten Messsystems (siehe Anhang A1).

2.2 Messunsicherheit

Die Standard-Kalibrierunsicherheit der verwendeten Messgeräte liegt innerhalb von $\pm 10\%$.

Die resultierende Gesamtmessunsicherheit bezüglich der in den betrachteten Messpositionen während der Messungen tatsächlich vorherrschenden elektrischen und magnetischen Immissionen ist vor allem durch den (nur) quasi-isotropen Charakter der Zeitbereichsmessungen dominiert, d.h., durch die Tatsache, dass die drei in orthogonalen Raumrichtungen durchgeführten Messungen nicht simultan, sondern nur zeitlich hintereinander durchgeführt werden können. Auf Basis von Mehrfachmessungen in jeder Raumrichtung kann dieser Unsicherheitsbeitrag auf den Bereich von ca. $\pm 20\%$ eingeschränkt werden. Angemerkt wird in diesem Zusammenhang, dass für die Bildung des Gesamtvektors jeweils die größten Messwerte aus den drei Raumrichtungen verwendet wurden, sodass die angegebene Unsicherheit mit großer Wahrscheinlichkeit in Richtung einer Überschätzung der tatsächlichen Immissionen liegt.

Die Welligkeit der Frequenzgänge (Antennenfaktoren) der *Shielded Active Loop* und der *Active Biconical Antenna* im Frequenzbereich der Smart Meter (FCC-Band 150 kHz – 500 kHz) liegt bei weniger als $\pm 2\%$.

Unter Annahme statistischer Unabhängigkeit der einzelnen relevanten Unsicherheitsbeiträge kann daraus in konservativer Weise eine maximale Gesamtunsicherheit von weniger als $\pm 23\%$ abgeleitet werden.

2.3 Installierte Smart Meter und untersuchte Messpositionen

Sowohl im untersuchten Einfamilienhaus als auch im Mehrparteienhaus sind Smart Meter von KAIFA der Type MA309M installiert, welche ausschließlich im Frequenzband 150 kHz – 500 kHz (FCC) senden.

Da innerhalb des Übertragungsfrequenzbereichs des FCC-Bandes in Mitteleuropa teilweise auch Funkdienste zur Flugsicherung (Non Directional Beacons, NDB) betrieben werden, wird das Sendespektrum des eingesetzten FCC-Bands für Smart Meter eingeschränkt, um mögliche Störungen der genannten Flugsicherungsdienste in der Region zu vermeiden Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2.

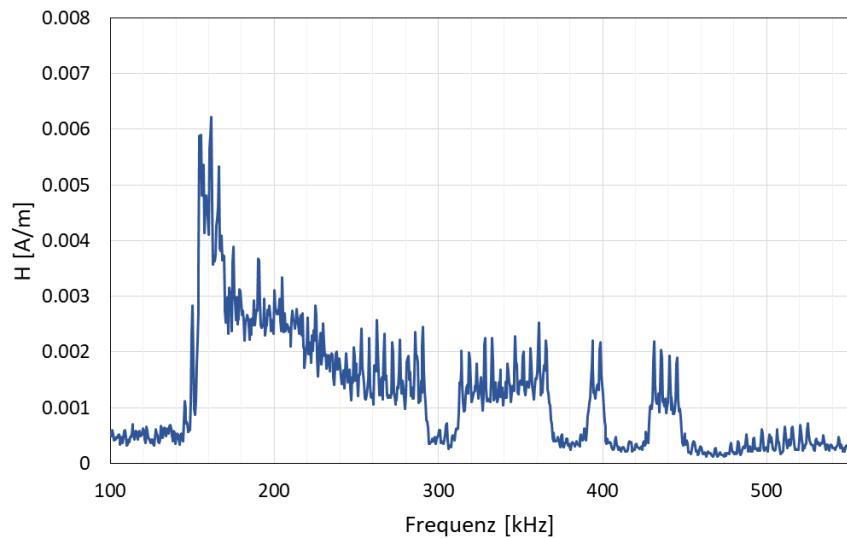


Abbildung 2.1: Beispiel eines Immissionsspektrums (magnetische Feldstärke, Auflösung der Bandbreite RBW 1 kHz, gemessen im Kellergeschoß des Einfamilienhauses vor dem Zählerkasten) des installierten Smart Meters. In der oberen Bandhälfte, also in den Bereichen um ca. 300 kHz, 380 kHz, 415 kHz und oberhalb von ca. 450 kHz sind die Lücken zufolge der Ausblendung von Trägerfrequenzen zur Vermeidung von Störungen anderer Funkdienste erkennbar.

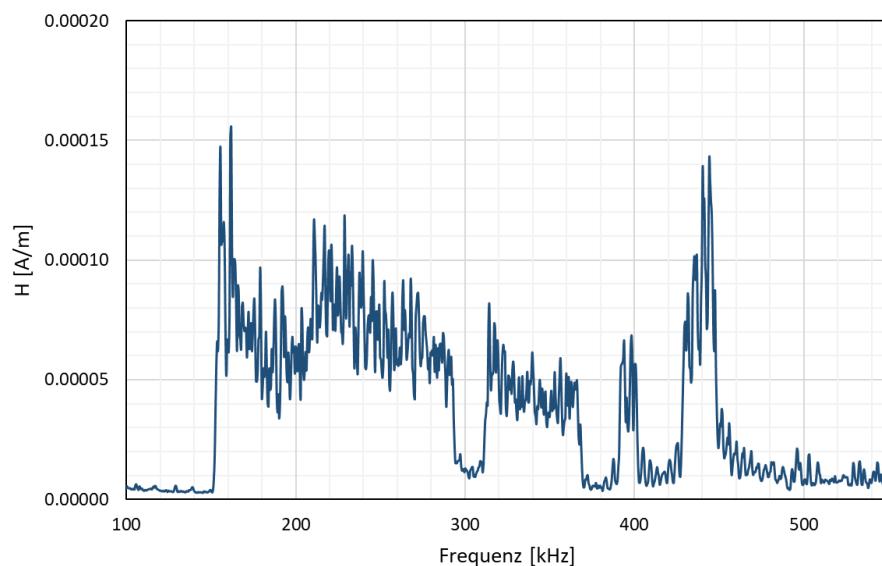


Abbildung 2.2: Beispiel eines Immissionsspektrums (magnetische Feldstärke, Auflösung der Bandbreite RBW 1 kHz, gemessen im Erdgeschoß in einer Wohnung des Mehrparteienhauses vor dem Verteilerkasten). In der oberen Bandhälfte, also in den Bereichen um ca. 300 kHz, 380 kHz, 415 kHz und oberhalb von ca. 450 kHz sind die Lücken zufolge der Ausblendung von Trägerfrequenzen zur Vermeidung von Störungen anderer Funkdienste erkennbar.

3 MESSEREGEBNISSE

3.1 Messungen in einem Einfamilienhaus

Die Messungen im betrachteten Einfamilienhaus in A-5431 Kuchl fanden am 8. April 2021 statt. Der installierte Smart Meter befand sich in einem Zähler-/Verteilerschrank im Keller des Hauses.

3.1.1 Betrachtete Messpositionen

- MP1:** Kellergeschoß, unmittelbar vor Smart Meter ($d = 20$ cm), Zählerschrank für (Stahlblech) geöffnet (Abbildung 3.1). Zum Vergleich wurden auch Messungen bei geschlossener Zählerschranktür durchgeführt.
- MP2:** Erdgeschoß, in der Küche, vor dem Herd (mit Induktionskochfeldern, Abbildung 3.2).
- MP3:** Erdgeschoß, im Wintergarten, auf dem Sofa (Abbildung 3.3).
- MP4:** Obergeschoß, Schlafplatz im Kinderzimmer, 30 cm Distanz zu einer Nachttischlampe mit einpoligem Schalter im N-Leiter (Abbildung 3.4). Während der Messung der elektrischen Feldstärke war die Nachttischlampe abgeschaltet, während der Messung der magnetischen Feldstärke war die Nachttischlampe eingeschaltet, um jeweils worst case Bedingungen zu provozieren.



Abbildung 3.1: Messposition MP1 in 20 cm Distanz zum Smart Meter. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.2: Messposition MP2 im Erdgeschoß, in der Küche, vor dem Herd. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen magnetischen Feldkomponente.



Abbildung 3.3: Messposition MP3 im Erdgeschoß, im Wintergarten, am Sofa. Aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.4: Messposition MP4 im Obergeschoß, im Kinderzimmer, am Schlafplatz in 30 cm Distanz zu einer Nachttischlampe mit einpoligem Schalter im N-Leiter. Während der Messung der elektrischen Feldstärke war die Nachttischlampe abgeschaltet, während der Messung der magnetischen Feldstärke war die Nachttischlampe eingeschaltet, um jeweils worst case Bedingungen zu provozieren.

3.1.2 Ergebnisse

Messposition MP1 (Kellergeschoß, vor Smart Meter)

Initialmessungen in Messposition MP1 bei geöffneter Zählerkastentür zeigten zunächst, dass die vom Smart Meter erzeugten elektrischen Feldstärken im gemessenen Zeitsignal nicht eindeutig identifizierbar waren, da die Hintergrundfeldstärken, verursacht durch diverse andere Geräte und Anlagen (Photovoltaikanlage, Windkraftanlage etc.), die vom Smart Meter erzeugten Immissionen vollständig „verdeckten“. Dieser Effekt zeigte sich in Messposition MP1 jedoch nur für die elektrische Feldstärke und nicht für die magnetische Flussdichte. Erst nach Abschaltung der Photovoltaikanlage und der Windkraftanlage waren die vom Smart Meter verursachten Immissionen im Messsignal der elektrischen Feldstärke erkennbar, wenngleich noch immer stark von Immissionsanteilen aus anderen Frequenzbereichen überlagert. Abbildung 3.5 zeigt einen typischen Zeitverlauf der gemessenen magnetischen Flussdichte mit den deutlich erkennbaren Bursts der Smart Meter Kommunikation.

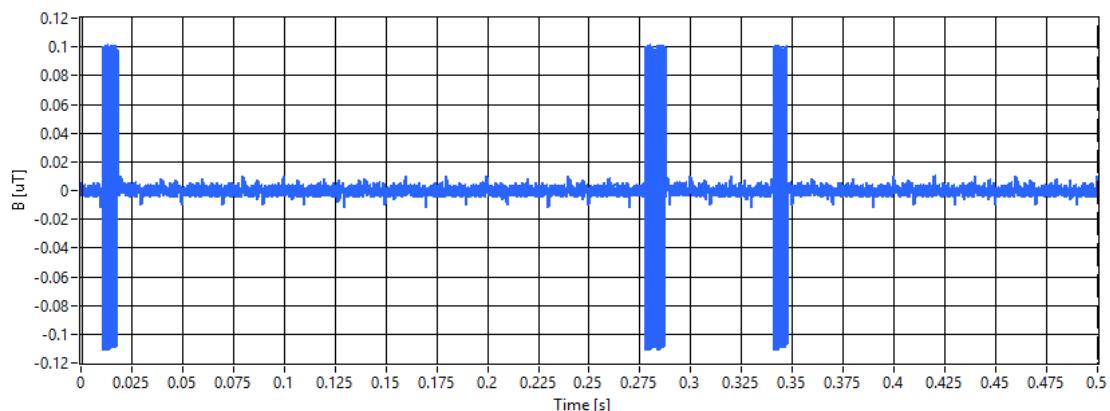


Abbildung 3.5: Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte, gemessen in unmittelbarer Nähe zum Smart Meter (Messposition MP1, bei geöffneter Zählerkastentür).

Abbildung 3.6 zeigt Details des Zeitverlaufs eines typischen Messsignals der elektrischen Feldstärke, gemessen in Messposition MP1 bei geöffneter Zählerkastentür.

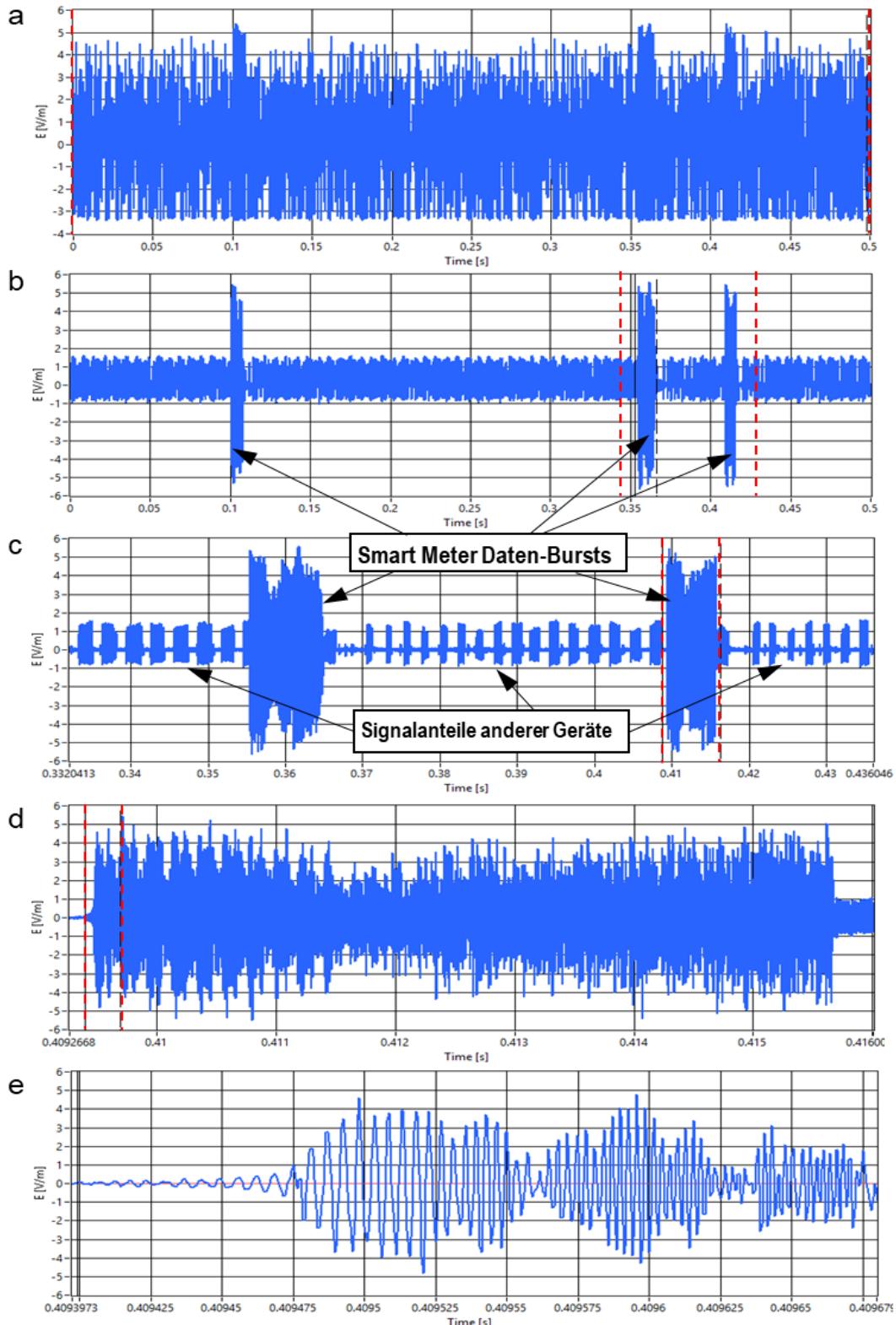


Abbildung 3.6: Typischer Zeitverlauf der elektrischen Feldstärke, gemessen in unmittelbarer Nähe zum Smart Meter (Messposition MP1, bei geöffneter Zählerkastentür). **a:** Messsignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; **b:** nach Filterung mit 100 kHz Hochpass; **c:** Zoom in Signal b; **d:** Zoom in Signal c; **e:** Zoom in Signal d. Das dargestellte Zeitintervall im jeweils unteren Teilbild wird durch die rot-strichlierten vertikalen Cursor-Marker im jeweils darüber liegenden Teilbild angezeigt.

Obwohl die vom Smart Meter verursachten Immissionen im Original-Messsignal bereits ersichtlich sind (Abbildung 3.6 a), werden sie jedoch deutlich von Signalanteilen aus anderen Frequenzbereichen (< 100 kHz) überlagert. Nach Filterung des Messsignals mit einem 100 kHz Hochpass-Filter wird das vom Smart Meter stammende Signal klar erkennbar, verbleibende Oberwellenanteile der genannten Signalanteile aus dem Frequenzbereich < 100 kHz sind jedoch nach wie vor sichtbar (Abbildung 3.6 b und c). Tabelle 3.1 fasst die Messergebnisse in Messposition MP1 nach dem Abschalten der Photovoltaik- und der Windkraftanlage zusammen.

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition MP1.

Messposition MP1 (Zählerkastentür offen)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.54 %	5.80 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.10 %*	0.26 %*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	178 nT	6.4 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	61.3 nT	1.8 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	570 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.51 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.55 %	6.20 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	25 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Anmerkung: Messungen bei geschlossener Zählerkastentür zeigten eine Reduzierung der elektrischen und magnetischen Immissionen um ca. 40-50 %.

In unmittelbarer Nähe (20 cm Distanz) zum Smart Meter liegen die maximalen ermittelten Expositionssquotienten im Frequenzbereich 100 kHz – 500 kHz bezüglich Reizwirkung bei 0.54 % (magnetische Immissionen EQS_B) und bei 5.80 % (elektrische Immissionen EQS_E). Die thermischen Expositionssquotienten EQT_B und EQT_E sind demgegenüber deutlich geringer und praktisch vernachlässigbar, insbesondere wenn realistische effektive Duty Cycles in 6 Minuten Zeitintervallen angenommen werden. Die vom Smart Meter verursachten Immissionsanteile sind in MP1 dominant im Vergleich zu Immissionsanteilen verursacht durch andere Verursacher (nach Abschalten der Photovoltaik- und der Windkraftanlage).

Messposition MP2 (Erdgeschoß, Küche, vor E-Herd)

Abbildung 3.7 und Abbildung 3.8 zeigen typische, in Messposition MP2 gemessene Zeitverläufe der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke, jeweils vor und nach Filterung mit einem 100 kHz Hochpass-Filter. Wie in Abbildung 3.7 ersichtlich, traten in MP2 offensichtlich auch (im Vergleich zu den durch den Smart Meter verursachten Immissionen) deutliche magnetische Flussdichteanteile im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 100 kHz auf. Tabelle 3.2 fasst die Messergebnisse für MP2 zusammen.

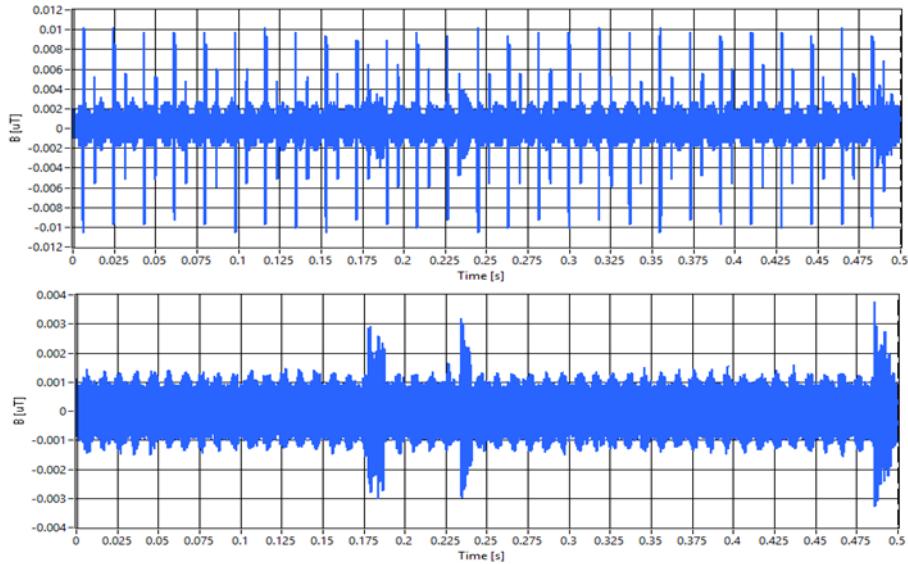


Abbildung 3.7: Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte, gemessen in Messposition MP2. Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter.

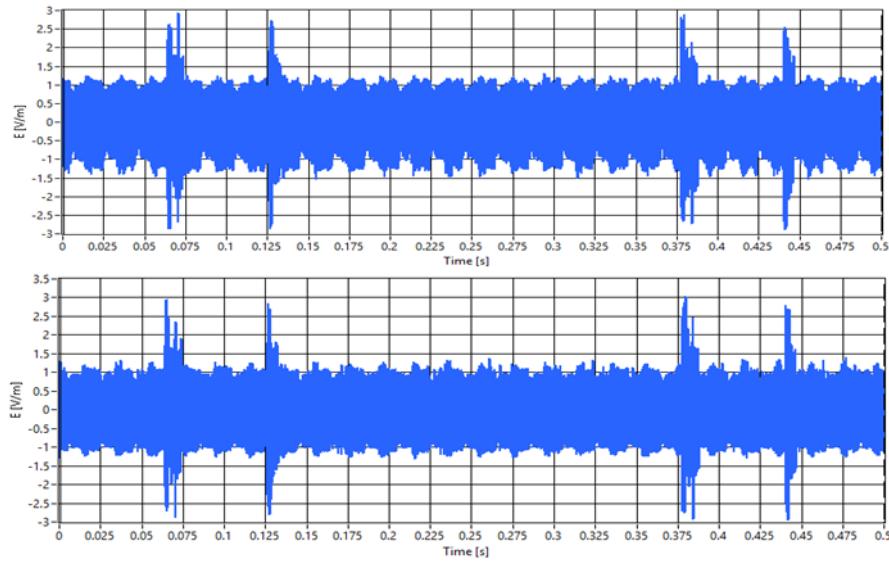


Abbildung 3.8: Typischer Zeitverlauf der elektrischen Feldstärke, gemessen in Messposition MP2. Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter.

Tabelle 3.2: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition MP2.

Messposition MP2 (Erdgeschoß, Küche, vor E-Herd)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.014 %	2.80 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00005 %*	0.064 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	12.7 nT	3.3 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	1.1 nT	0.7 V/m
Spitzenwerte B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	200 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.35 % / 48 %**	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.033 %	2.84 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	7.0 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

** Bei eingeschaltetem Induktionskochfeld

Messposition MP3 (Erdgeschoß, Wohnzimmer/Wintergarten)

Abbildung 3.9 und Abbildung 3.10 zeigen typische in Messposition MP3 gemessene Zeitverläufe der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke, jeweils vor und nach Filterung mit einem 100 kHz Hochpass-Filter. Wie in Abbildung 3.9 ersichtlich, traten auch in MP3 deutliche Spektralanteile im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 100 kHz auf.

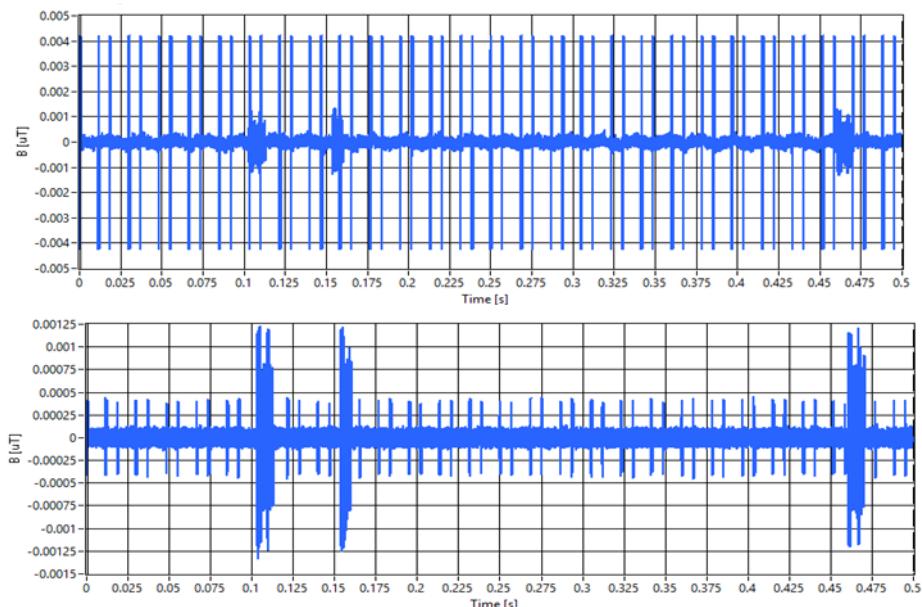


Abbildung 3.9: Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte, gemessen in Messposition MP3. Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter.

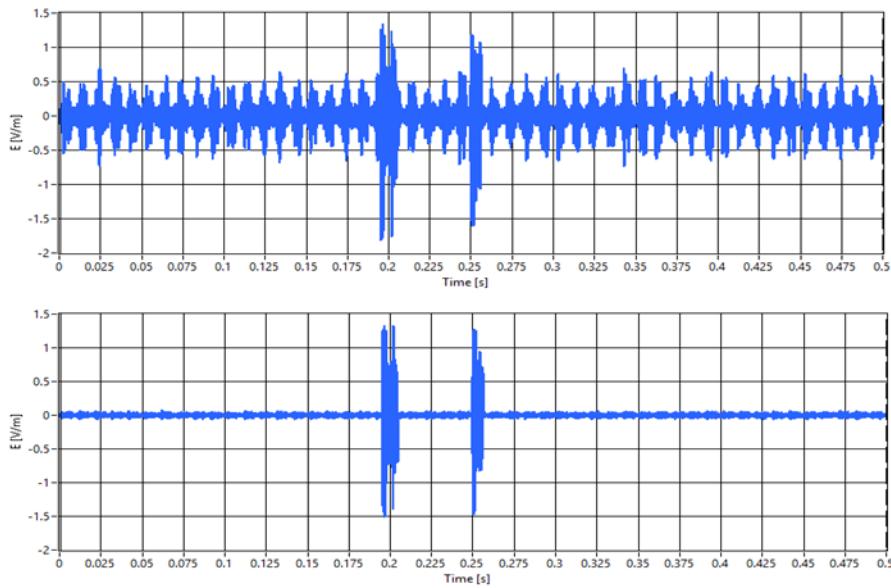


Abbildung 3.10: Typischer Zeitverlauf der elektrischen Feldstärke, gemessen in Messposition MP3. Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter.

Tabelle 3.3 fasst die Messergebnisse für MP3 zusammen.

Tabelle 3.3: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition MP3.

Messposition MP3 (Erdgeschoß, Wintergarten)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.005 %	2.45 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.000008 %*	0.052 %*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	7.2 nT	2.9 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	0.4 nT	0.5 V/m
Spitzenwerte B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	160 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.37 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.02 %	3.21 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	4.5 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Messposition MP4 (Obergeschoß, Schlafplatz im Kinderzimmer)

Abbildung 3.11 und Abbildung 3.12 zeigen typische in Messposition MP4 gemessene Zeitverläufe der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke, jeweils vor und nach Filterung mit einem 100 kHz Hochpass-Filter. Wie aus den Abbildungen ersichtlich, traten auch in MP4 (im Vergleich zu den durch den Smart Meter verursachten Immissionen) deutliche magnetische Flussdichteanteile und elektrische Feldstärkeanteile im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 100 kHz auf, die den vom Smart Meter verursachten Immissionsanteilen überlagert sind. Tabelle 3.4 fasst die Messergebnisse für MP3 zusammen.

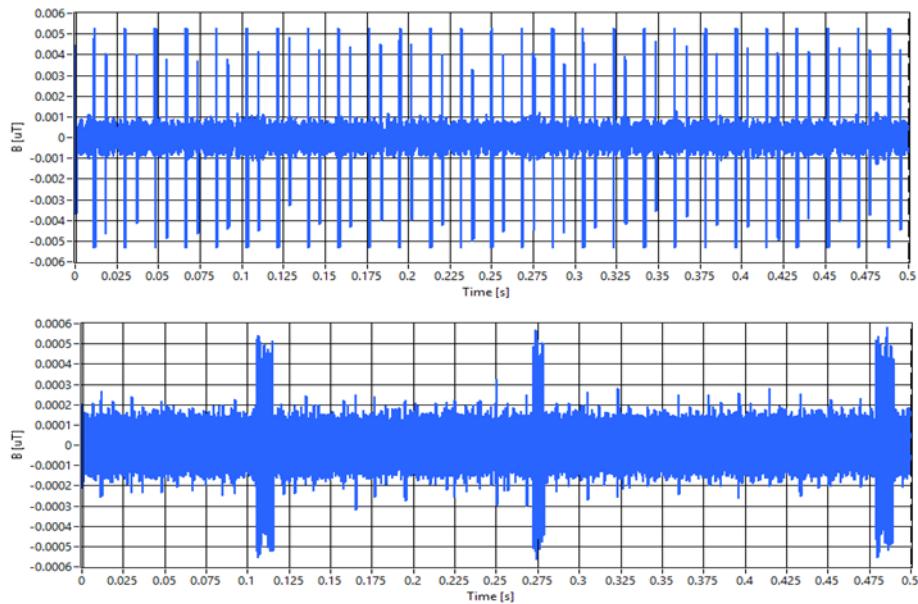


Abbildung 3.11: Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte, gemessen in Messposition MP4. Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter.

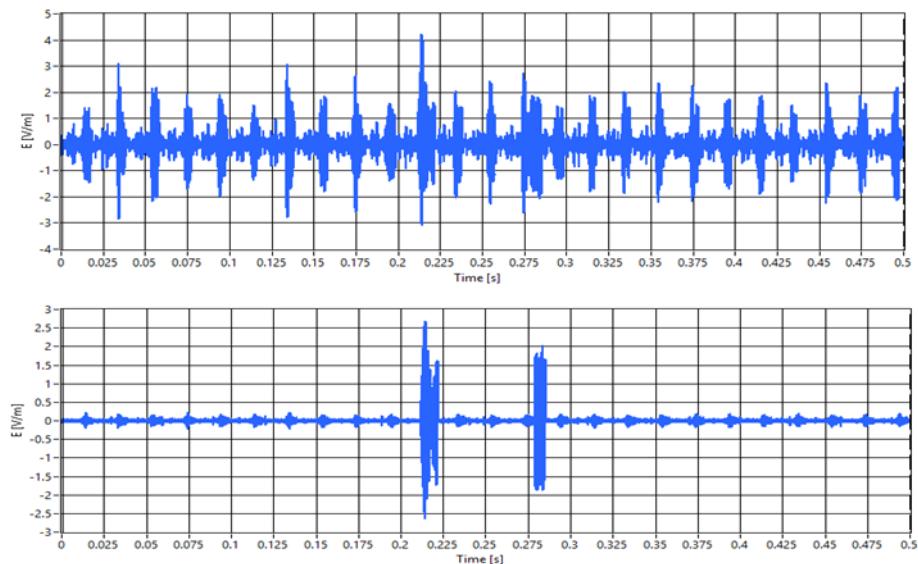


Abbildung 3.12: Typischer Zeitverlauf der elektrischen Feldstärke, gemessen in Messposition MP4. Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter.

Tabelle 3.4: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition MP4.

Messposition MP4 (Obergeschoß, Schlafplatz im Kinderzimmer)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.004 %	3.05 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.000003 %*	0.083 %*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	7.5 nT	3.6 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	0.3 nT	0.7 V/m
Spitzenwerte B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	180 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.35 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.02 %	5.71 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	108 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Die maximalen in MP4 ermittelten und vom Smart Meter verursachten magnetischen Expositionenquotienten lagen bei 0.004 % (EQS_B) und zeigten sich somit im Vergleich zu den von anderen Quellen verursachten Immissionsanteilen als vernachlässigbar (0.35 %).

Die maximalen in MP3 ermittelten und vom Smart Meter verursachten elektrischen Expositionenquotienten lagen bei 3.05 % (EQS_E) und lagen damit in der gleichen Größenordnung wie die von anderen Quellen verursachten elektrischen Immissionsanteile.

3.2 Messungen in einem Mehrparteienhaus

Die Messungen im betrachteten Mehrparteienhauses in A-5302 Henndorf fanden am 22. und 23. August 2022 statt. Alle Smart Meter sind zentral in einem Hauptverteilerschrank (Zählerschrank) im Stiegenhaus des Objektes untergebracht.

3.2.1 Betrachtete Messpositionen

Messungen wurden in drei unterschiedlichen Wohnungen (W1, W2, W3) durchgeführt, wobei zwei der Wohnungen (W1, W2) im Erdgeschoß und eine der Wohnungen (W3) im obersten Geschoß des Gebäudes lagen. In jeder der Wohnungen wurden insgesamt vier Messpositionen betrachtet:

MP1: vor dem Verteilerschrank

MP2: in der Küche vor dem Herd

MP3: im Wohnzimmer auf dem Sofa

MP4: an einem Schlafplatz im Kopfbereich des Bettes

Zusätzlich erfolgten Messungen im Stiegenhaus vor dem Zählerschrank (Messposition **MP-Z**), sowohl bei geschlossener als auch bei geöffneter Schranktür.

Abbildung 3.13 bis Abbildung 3.24 zeigen ausgewählte Fotos der Messpositionen.



Abbildung 3.13: Messposition W1-MP1 in 20 cm Distanz zum Verteilerschrank in Wohnung W1. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.14: Messposition W1-MP2 in der Küche vor dem E-Herd in Wohnung W1. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen magnetischen Feldkomponente.



Abbildung 3.15: Messposition W1-MP3 im Wohnzimmer auf dem Sofa in Wohnung W1. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.16: Messposition W1-MP4 an einem Schlafplatz in Wohnung W1. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen magnetischen Feldkomponente.



Abbildung 3.17: Messposition W2-MP1 in 20 cm Distanz zum Verteilerschrank in Wohnung W2. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.18: Messposition W2-MP2 in der Küche vor dem E-Herd in Wohnung W2. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: isotrope Feldsonde ESM100 zur breitbandigen Messung der elektrischen und magnetischen Feldstärke.



Abbildung 3.19: Messpositionen W2-MP3 im Wohnzimmer (links, mit bikonischer Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente) und W2-MP4 an einem Schlafplatz (rechts, mit bikonischer Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der horizontalen elektrischen Feldkomponenten) in Wohnung W2.



Abbildung 3.20: Messposition W3-MP1 in 20 cm Distanz zum Verteilerschrank in Wohnung W3. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.21: Messposition W3-MP2 in der Küche vor dem E-Herd in Wohnung W3. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.22: Messposition W3-MP3 im Wohnzimmer auf dem Sofa in Wohnung W3. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.23: Messposition W3-MP4 an einem Schlafplatz in Wohnung W3. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung der vertikalen elektrischen Feldkomponente; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.



Abbildung 3.24: Messposition MP-Z im Stiegenhaus vor dem Zählerschrank (20 cm Distanz), bei geöffneter Zählerkastentür. Links: aktive bikonische Dipolantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen elektrischen Feldkomponenten; rechts: aktive Loopantenne aufgestellt zur Messung einer der beiden horizontalen magnetischen Feldkomponenten.

3.2.2 Messergebnisse

Der qualitative Zeitverlauf der von den Smart Metern verursachten elektrischen und magnetischen Immissionen zeigen in allen Messpositionen und Wohnungen keine relevanten systematischen Unterschiede. Abbildung 3.25 bis Abbildung 3.27 zeigen einige ausgewählte, repräsentative Beispiele.

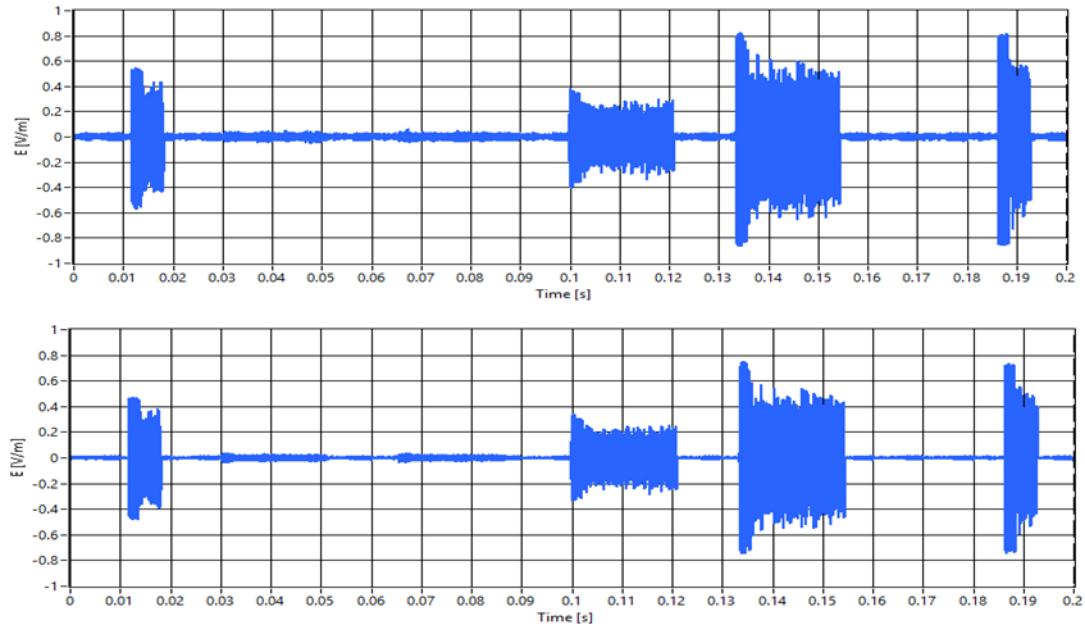


Abbildung 3.25: Typischer Zeitverlauf der elektrischen Feldstärke, gemessen in Messposition W1-MP2 (vertikale Antennenausrichtung). Oben: Originalmesssignal im Frequenzbereich 9 kHz – 1 MHz; unten: nach Filterung mit 100 kHz Hochpass-Filter. Klar erkennbar sind Bursts mit unterschiedlichen Amplituden, offensichtlich von unterschiedlichen Smart Metern stammend. Die Bursts mit der höchsten Amplitude können dem zur Wohnung gehörenden Smart Meter zugeordnet werden.

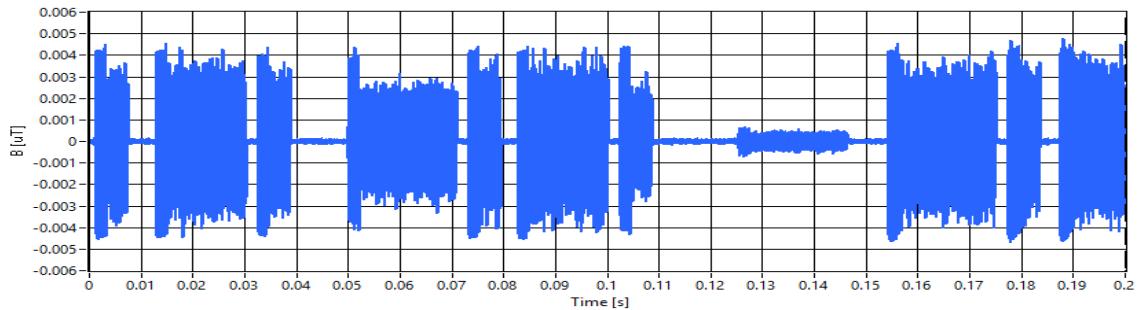


Abbildung 3.26: Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte gemessen in Messposition W1-MP3 (vertikale Magnetfeldkomponente). Erkennbar sind Bursts mit unterschiedlichen Amplituden, offensichtlich von unterschiedlichen Smart Metern stammend. Die Bursts mit der höchsten Amplitude können dem zur Wohnung gehörenden Smart Meter zugeordnet werden.

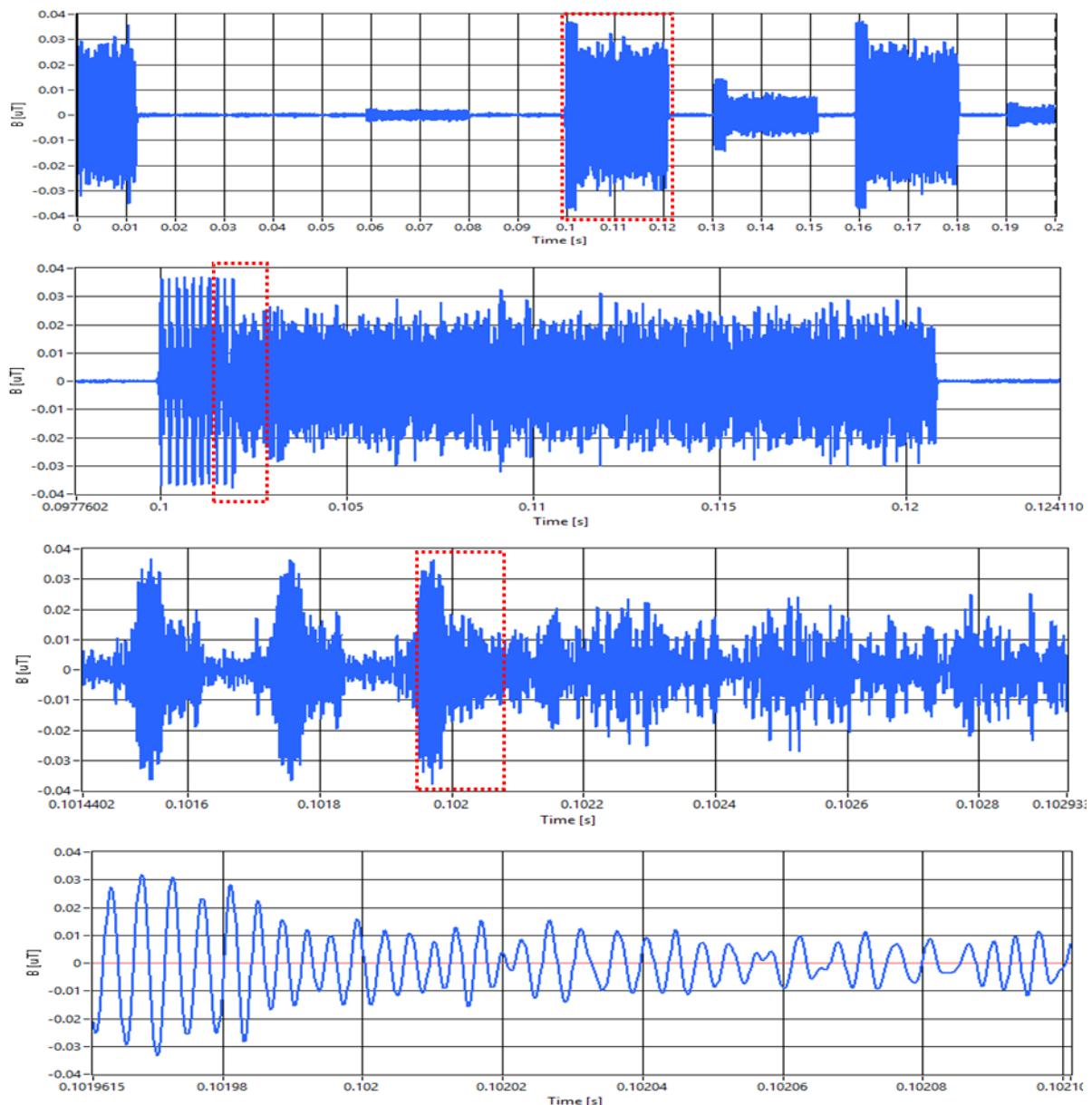


Abbildung 3.27: Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte gemessen in Messposition MP-Z (Zählerkastentür geschlossen) mit schrittweise gesteigertem Zoom (markierter Bereich im jeweils oberen Teilbild entspricht dem Zeitfenster im jeweils unteren Teilbild).

Tabelle 3.5 bis Tabelle 3.18 fassen die Messergebnisse im Mehrparteienhaus zusammen.

Tabelle 3.5: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W1-MP1.

Messposition W1-MP1 (vor Verteilerkasten, Verteilerkastentür geschlossen)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.14 %	1.52 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.0067 %*	0.020 %*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	7.1 nT	1.8 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	1.4 nT	0.4 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	560 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.42 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.020 %	1.64 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	1.6 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.6: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W1-MP2.

Messposition W1-MP2 (Küche, vor E-Herd)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.013 %	1.31 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.00008 %*	0.014%*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	5.1 nT	1.5 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	1.2 nT	0.3 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	530 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.50 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.031 %	1.41 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	2.7 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.7: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W1-MP3.

Messposition W1-MP3 (Wohnzimmer, am Sofa)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.018 %	0.55 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00014 %*	0.002 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	6.4 nT	0.7 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	1.6 nT	0.1 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	155 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.36 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.018 %	0.67 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	11 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.8: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W1-MP4.

Messposition W1-MP4 (Schlafplatz, Kopfende)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.044 %	1.61 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00076 %*	0.018 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	16.9 nT	1.9 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	4.1 nT	0.4 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	167 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.39 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.048 %	1.80 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	3.7 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.9: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W2-MP1.

Messposition W2-MP1 (vor Verteilerkasten, Verteilerkastentür geschlossen)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.100 %	3.65 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00028 %*	0.099 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	38.1 nT	4.3 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	7.7 nT	1.3 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	590 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.45 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.109 %	3.66 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	1.0 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.10: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W2-MP2.

Messposition W2-MP2 (Küche, vor E-Herd)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.035 %	2.28 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00073 %*	0.047 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	13.0 nT	2.7 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	2.6 nT	0.4 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	145 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.36 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.037 %	2.51 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	2.9 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.11: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W2-MP3.

Messposition W2-MP3 (Wohnzimmer, am Sofa)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.015 %	1.66 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00007 %*	0.023 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	5.7 nT	2.0 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	1.4 nT	0.3 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	166 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.37 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.017 %	1.79 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	11.8 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.12: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W2-MP4.

Messposition W2-MP4 (Schlafplatz, Kopfende)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.012 %	0.85 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00010 %*	0.006 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	4.6 nT	1.0 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	1.0 nT	0.2 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	520 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.35 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.014 %	0.99 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	0.3 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.13: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W3-MP1.

Messposition W3-MP1 (vor Verteilerkasten, Verteilerkastentür geschlossen)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.115 %	3.03 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00393 %*	0.082 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	44.1 nT	3.6 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	11.3 nT	1.3 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	270 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.36 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.124 %	3.07 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	1.8 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.14: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W3-MP2.

Messposition W3-MP2 (Küche, vor E-Herd)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.003 %	2.71 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.000003 %*	0.056 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	1.0 nT	3.1 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	0.2 nT	0.7 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	160 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.38 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.003 %	2.95 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	13.1 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.15: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W3-MP3.

Messposition W3-MP3 (Wohnzimmer, am Sofa)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.003 %	2.09 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.000003 %*	0.036 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	1.2 nT	2.5 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	0.3 nT	0.5 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	156 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.35 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.004 %	2.32 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	3.3 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.16: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition W3-MP4.

Messposition W3-MP4 (Schlafplatz, Kopfende)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.009 %	3.06 %
$\text{EQT}_B, \text{EQT}_E$ (100 kHz – 500 kHz)	0.00002 %*	0.072 %*
Spitzenwerte $B_{\text{peak}}, E_{\text{peak}}$ (100 kHz – 500 kHz)	3.3 nT	3.6 V/m
Effektivwerte im Burst $B_{\text{rms-burst}}, E_{\text{rms-burst}}$ (150 kHz – 500 kHz)	0.7 nT	0.8 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	135 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.33 %	-
$\text{EQS}_B, \text{EQS}_E$ (9 kHz – 500 kHz)	0.010 %	3.50 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	11 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.17: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition MP-Z (Stiegenhaus, Zählerkastentür offen).

Messposition MP-Z (Stiegenhaus vor Zählerkasten, Zählerkastentür offen)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.186 %	3.24 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.012 %*	0.076 %*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	70.8 nT	3.8 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	19.2 nT	0.9 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	265 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.37 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.119 %	3.54 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	95 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 3.18: Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse in Messposition MP-Z (Stiegenhaus, Zählerkastentür geschlossen).

Messposition MP-Z (Stiegenhaus vor Zählerkasten, Zählerkastentür geschlossen)		
	magnet. Flussdichte B	elektr. Feldstärke E
EQS_B, EQS_E (100 kHz – 500 kHz)	0.107 %	1.50 %
EQT_B, EQT_E (100 kHz – 500 kHz)	0.00429 %*	0.018 %*
Spitzenwerte B_{peak}, E_{peak} (100 kHz – 500 kHz)	38.5 nT	1.8 V/m
Effektivwerte im Burst B_{rms-burst}, E_{rms-burst} (150 kHz – 500 kHz)	9.9 nT	0.3 V/m
Spitzenwert B_{peak} (5 Hz – 400 kHz)	180 nT	-
EQS_B (5 Hz – 400 kHz)	0.36 %	-
EQS_B, EQS_E (9 kHz – 500 kHz)	0.121 %	1.53 %
Effektivwert E (5 Hz – 2 kHz)	-	2.5 V/m

* Diese Werte entsprechen dem hypothetischen, in der Praxis nicht vorkommenden Fall, dass der Smart Meter kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung, Daten sendet. Da der Smart Meter in der Praxis nur relativ selten Datenpakete sendet und die Referenzwerte zur Vermeidung thermischer Wirkungen als 6 Minuten-Mittelwerte zu verstehen sind, sind die in der Realität auftretenden EQT_B und EQT_E deutlich geringer als die in der Tabelle angeführten Werte.

3.3 Messungen der Auftrittshäufigkeit der Smart Meter Bursts

Die Messungen der Auftrittshäufigkeit der Smart Meter Bursts wurden jeweils am Smart Meter Gateway in sieben unterschiedlichen Trafostationen (Tabelle 3.19) durchgeführt.

Tabelle 3.19: Untersuchte Trafostationen und Anzahl der zum Zeitpunkt der Messungen am jeweiligen Gateway angeschlossenen Smart Meter.

Trafostation	Anzahl angeschlossener Smart Meter
S018 Faistauergasse	755
S0711 Schießstattstraße	625
S0397 Kleingmainer Gasse	502
S0839 Theodostraße	357
S0491 Membergerstraße	258
S1191 Josef-Brandstätter-Straße	137
S0658-SM1-Rennbahn	47

Abbildung 3.28 zeigt exemplarisch den Einbau des Messsystems am Gateway.



Abbildung 3.28: Einbau des Messsystems PLC-SM-LZM (FCC), siehe Anhang, am Gateway in einer Trafostation.

Tabelle 3.20 und Abbildung 3.29 fassen die Messergebnisse an den Gateways tabellarisch bzw. grafisch zusammen. Erwartungsgemäß zeigt sich dabei eine Tendenz zu einem geringeren Gesamt-Duty Cycle mit sinkender Anzahl der am Gateway angeschlossenen Smart Metern. Eine Umlegung dieser ausschließlich direkt an den Gateways gemessenen Daten auf die in den einzelnen Haushalten des jeweiligen Versorgungsgebietes zu erwartenden Burst-Häufigkeiten bzw. Gesamt-Duty Cycles ist jedoch nicht ohne Weiteres möglich. Daher wurden zusätzlich Langzeitmessungen in einem Einfamilienhaus und an dem diesem Einfamilienhaus zugeordneten Gateway (mit insgesamt ca. 150 angeschlossenen Smart Meter) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 3.21 zusammengefasst.

Tabelle 3.20: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse hinsichtlich der Auftrittshäufigkeit und des Duty Cycles der von unterschiedlichen Gateways abgegebenen Bursts. Der angegebene „Duty Cycle gesamt“ ist der über den gesamten Messzeitraum gemittelte Duty Cycle zu verstehen.

Trafostation	Anzahl angeschlossener Smart Meter	Messdauer (gerundet auf ganze Tage)	Anzahl Bursts gesamt	Duty Cycle gesamt
S018 Faistauergasse	755	7 Tage	638522	1.307 %
S0711 Schiessstattstraße	625	7 Tage	538237	1.251 %
S0397 Kleingmainer Gasse	502	7 Tage	633436	1.331 %
S0839 Theodostraße	357	8 Tage	427414	0.805 %
S0491 Membergerstraße	258	12 Tage	476002	0.568 %
S1191 Josef-Brandstätter-Straße	137	8 Tage	149577	0.362 %
S0658-SM1-Rennbahn	47	7 Tage	28775	0.092 %

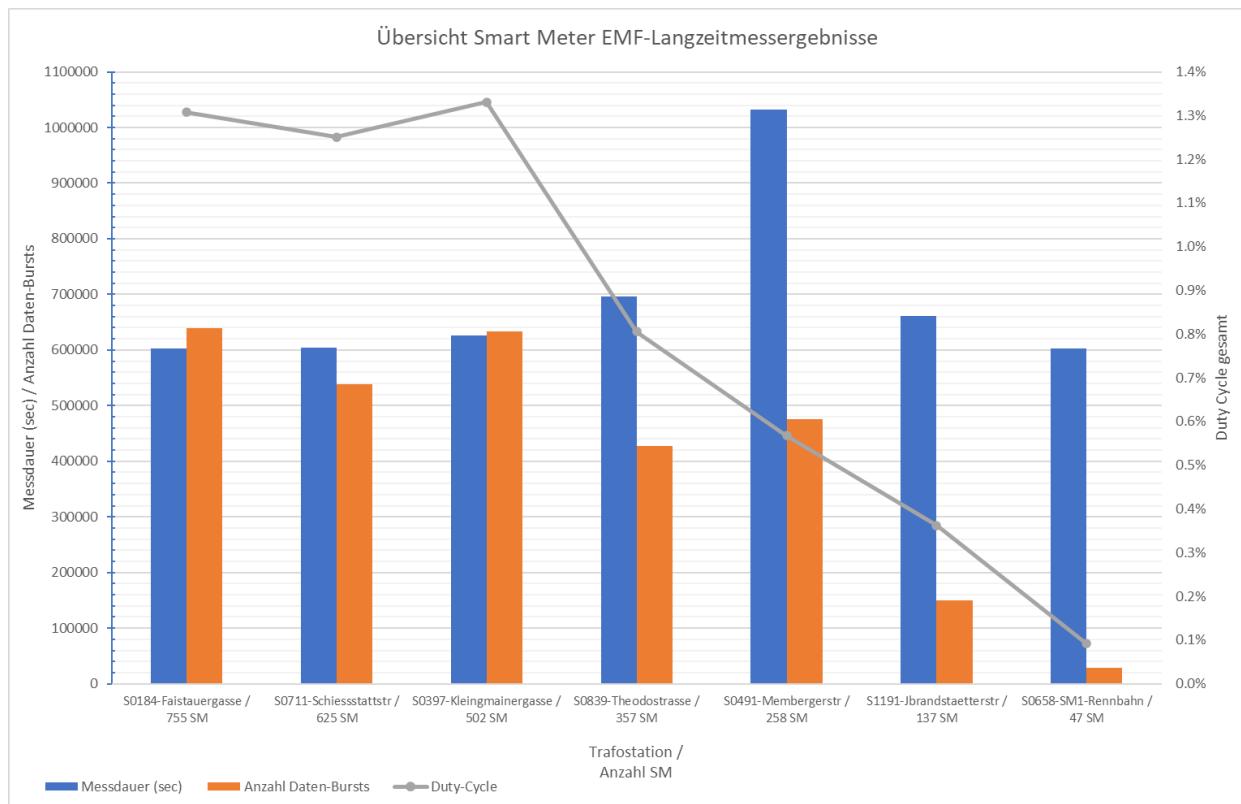


Abbildung 3.29: Grafische Zusammenfassung der Messergebnisse hinsichtlich der Auftrittshäufigkeit und des Duty Cycles der Smart Meter Bursts. Der angegebene „Duty Cycle gesamt“ ist der über den gesamten Messzeitraum gemittelte Duty Cycle zu verstehen.

Tabelle 3.21: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse hinsichtlich der Auftrittshäufigkeit und des Duty Cycles von Smart Meter Bursts in einem Einfamilienhaus und am zugordneten Gateway. Der angegebene „Duty Cycle gesamt“ ist der über den gesamten Messzeitraum gemittelte Duty Cycle zu verstehen.

	Anzahl angeschlossener Smart Meter	Messdauer	Anzahl Bursts gesamt	Duty Cycle gesamt
Gateway	ca. 150	7 Tage	339517	0.950 %
Smart Meter (Einfamilienhaus)	-	7 Tage	54861*	0.088 %*

* Werte hochgerechnet aus Messzeiten zwischen ca. 21:00 Uhr und ca. 6:00 Uhr, da in der Zeit zwischen ca. 06:00 Uhr und ca. 21:00 die Messung durch den Wechselrichter der Photovoltaikanlage gestört wurde.

Unter den (vernünftig erscheinenden) Annahmen, dass das untersuchte Einfamilienhaus bzw. Smart Meter als typisch angesehen werden kann, und dass die Streubreiten der an den Gateways gemessenen Duty Cycles auch als repräsentativ für jene nahe der Smart Meter messbaren sind, liegen die in Haushalten über längere Zeiträume hinweg messbare Gesamt-Duty Cycles typischerweise unterhalb von ca. 0.2%.

4 GESAMTBEWERTUNG DER IMMISSIONSDATEN

Abbildung 4.1 stellt die in den untersuchten Messpositionen gemessenen Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte (oben) und der elektrischen Feldstärke (unten) gegenüber. Die dargestellten Daten entsprechen ausschließlich den durch die Smart Meter Kommunikation im Frequenzbereich 150 kHz – 500 kHz verursachten Immissionen. Die Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte bzw. elektrischen Feldstärke zeigen sich bei Messpositionen in unmittelbarer Nähe zu den Smart Metern (ca. 20 cm Abstand) bei geöffneter Zählerkastentür bei bis zu 178 nT bzw. 6.4 V/m, wobei sich diese Werte bei geschlossener (metallischer) Zählerkastentür um ca. 40 – 50 % reduzieren. In üblichen Aufenthaltsbereichen liegen die Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte bzw. elektrischen Feldstärke im Bereich von 1 nT – 16.9 nT bzw. 0.7 V/m – 3.6 V/m.

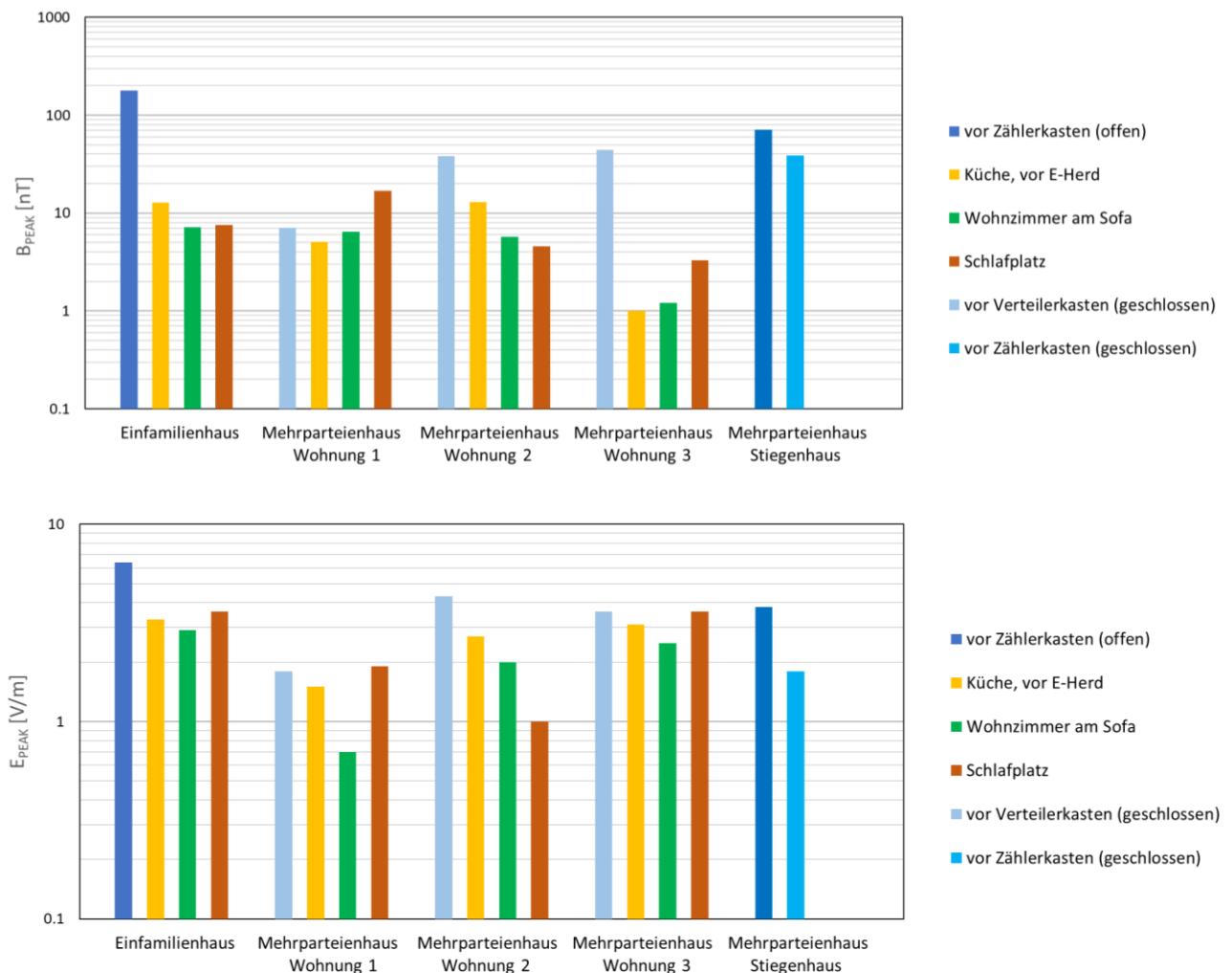


Abbildung 4.1: Grafische Gegenüberstellung der in den untersuchten Messpositionen gemessenen Spitzenwerte der magnetischen Flussdichte (oben) und der elektrischen Feldstärke (unten) im Frequenzbereich 150 kHz – 500 kHz, verursacht durch die Smart Meter Kommunikation.

Die Ursache dafür, dass sich die gemessenen Werte der elektrischen Feldstärke in typischen Aufenthaltsbereichen deutlich geringer von jenen in unmittelbarer Nähe der Zählerkästen unterscheiden als die der magnetischen Flussdichte, liegt vermutlich an der typischerweise nicht allpoligen Trennung der meisten Verbraucher vom Netz. Bei „ungünstigem“ Anschluss solcher Geräte ans Netz (Unterbrechung des N-Leiters durch den Geräteschalter) entstehen

vergleichsweise große elektrische Streufelder im Raum, da die Netzspannung aus der Hausinstallation ins Gerät „gezogen“ wird. Dieser Effekt ist ganz allgemein aus der Installationstechnik bekannt und betrifft nicht nur die von Smart Metern verursachten elektrischen Immissionen.

Abbildung 4.2 zeigt eine Gegenüberstellung der in den untersuchten Messpositionen zufolge der Smart Meter Kommunikation auftretenden Expositionsquotienten EQS_B (oben) und EQS_E (unten) bezüglich Stimulationswirkung gemäß OVE R 23-1 [1]. Es zeigen sich dabei erwartungsgemäß ähnliche Trends wie bei den in Abbildung 4.1 dargestellten Spitzenwerten der Immissionsgrößen. Die Maximalwerte des EQS_B bzw. EQS_E zeigen sich bei Messpositionen in unmittelbarer Nähe zu den Smart Metern (ca. 20 cm Abstand) bei geöffneter Zählerkastentür bei bis 0.54 % bzw. 5.8 % der anzuwendenden Referenzwerte, wobei sich diese Werte bei geschlossener (metallischer) Zählerkastentür um ca. 40 – 50% reduzieren. In üblichen Aufenthaltsbereichen liegen die Maximalwerte des EQS_B bzw. EQS_E im Bereich von 0.003 % – 0.044 % bzw. 0.55 % – 3.1 %.

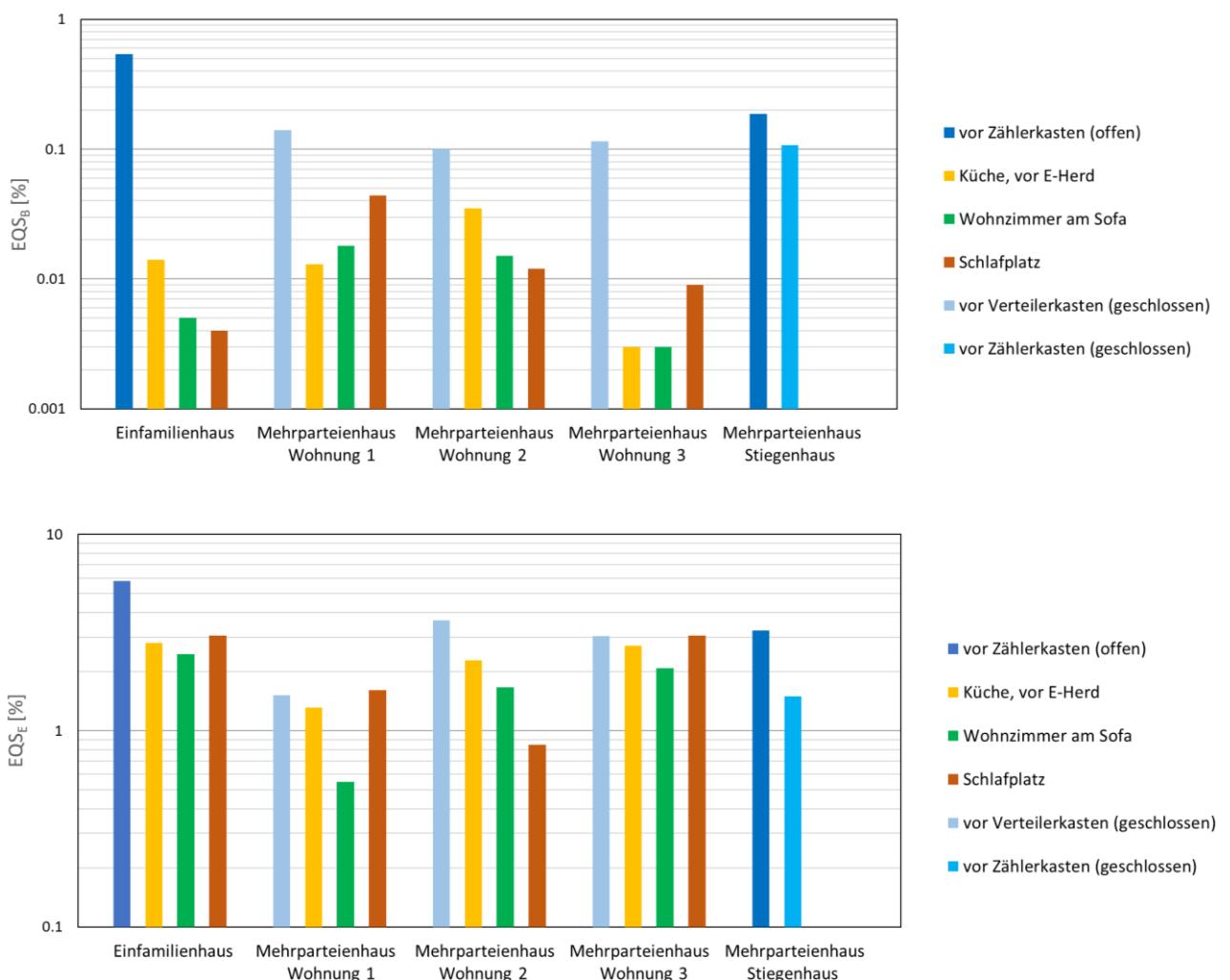


Abbildung 4.2: Grafische Gegenüberstellung der in den untersuchten Messpositionen zufolge der Smart Meter Kommunikation auftretenden Expositionsquotienten EQS_B (oben) und EQS_E (unten) bezüglich Stimulationswirkung gemäß OVE R 23-1 [1].

Abbildung 4.3 zeigt schließlich eine Gegenüberstellung der in den untersuchten Messpositionen zufolge der Smart Meter Kommunikation auftretenden Expositionsquotienten EQT_B (oben) und EQT_E (unten) bezüglich thermischer Wirkung gemäß OVE R 23-1, wobei anzumerken ist, dass die gezeigten EQT_B und EQT_E unter der (unrealistisch) konservativen Annahme eines Dauersendens (> 6 Minuten) der Smart Meter ermittelt wurden. Die Daten zeigen deutlich, dass selbst unter Einhaltung dieser konservativen Annahmen die EQT_B und EQT_E deutlich geringer ausfallen als die entsprechenden EQS_B und EQS_E . Die von den Smart Metern verursachten Immissionsanteile sind hinsichtlich der Ausschöpfung der Referenzwerte zur Vermeidung von thermischen Wirkungen demnach deutlich weniger relevant als im Hinblick auf die Referenzwerte zur Vermeidung von nicht-thermischen sensorischen Wirkungen (Stimulationswirkungen, Reizwirkungen). Bei Annahme realistischer effektiver, über 6 Minuten gemittelter Sendeaktivität des Smart Meters, kann die Ausschöpfung der Referenzwerte zur Vermeidung von thermischen Wirkungen als vernachlässigbar angesehen werden.

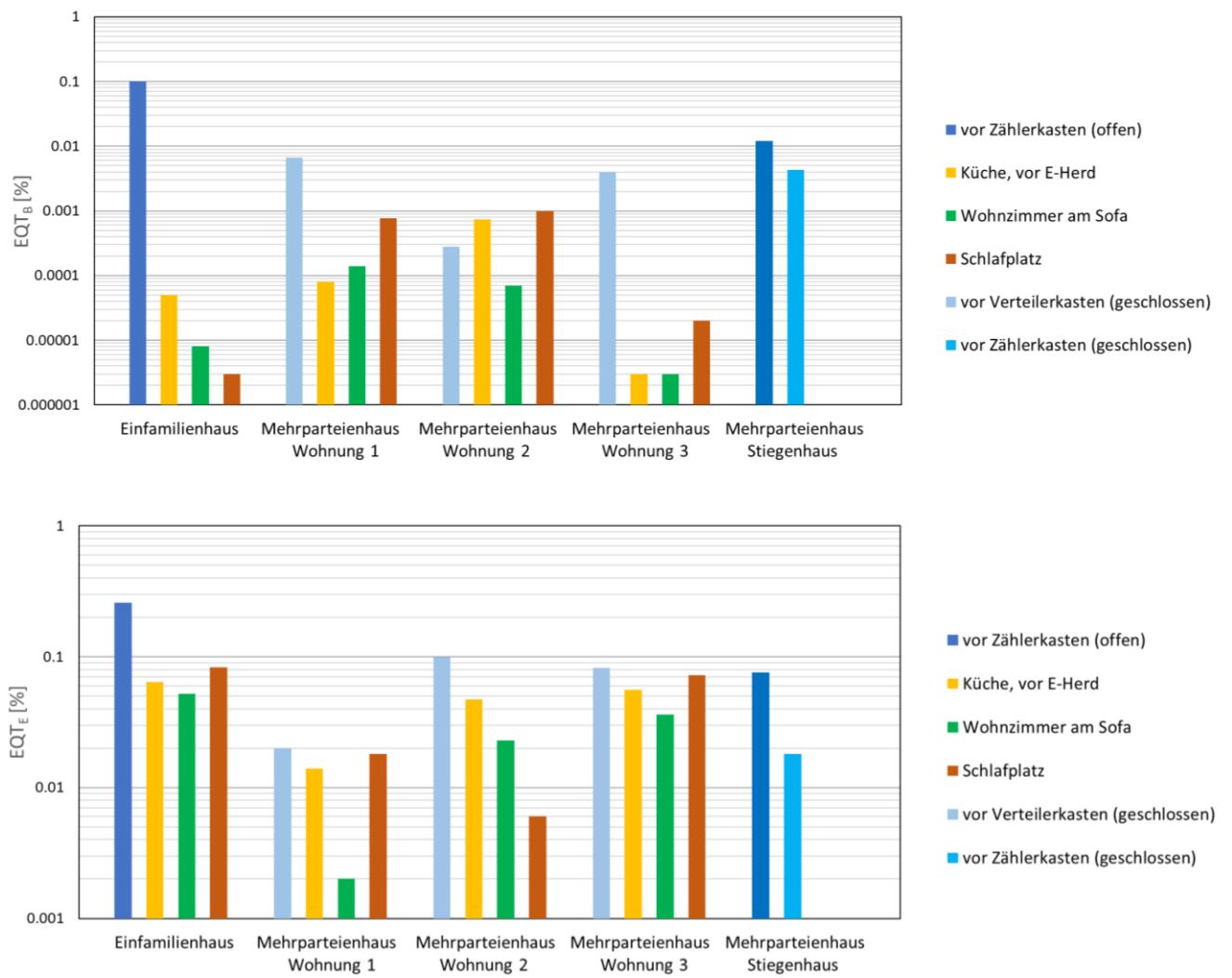


Abbildung 4.3: Grafische Gegenüberstellung der in den untersuchten Messpositionen zufolge der Smart Meter Kommunikation auftretenden Expositionsquotienten EQT_B (oben) und EQT_E (unten) bezüglich thermischer Wirkung gemäß OVE R 23-1.

Vergleicht man die von den Smart Metern in typischen Aufenthaltsbereichen gemessenen magnetischen Immissionswerte mit jenen, die zufolge anderer Verbraucher in typischer Haushaltsumgebung zu erwarten sind [2], sind die von den Smart Metern verursachten magnetischen Immissionsanteile im Vergleich zu Immissionsbeiträgen anderer Quellen praktisch vernachlässigbar.

Der Vergleich der von den Smart Metern in typischen Aufenthaltsbereichen gemessenen elektrischen Immissionswerte mit jenen, die zufolge anderer Verbraucher in typischer Haushaltsumgebung zu erwarten sind [2], zeigt Immissionsanteile in der gleichen Größenordnung wie die Immissionsbeiträge anderer Quellen.

Die Messdaten zeigen keinen Trend, dass in Mehrparteienhäusern, zufolge der größeren Anzahl (Dichte) von installierten Smart Metern, höhere Immissionen zu erwarten wären als in Einfamilienhäusern.

Weiters zeigten die Langzeitmessungen, die an unterschiedlichen Gateways in Trafostationen sowie in einem Einfamilienhaus durchgeführt wurden, dass die von den Smart Metern ausgesendeten Bursts nur relativ selten auftreten. Ausgehend von den erhobenen Messdaten ist anzunehmen, dass die über längere Zeit gemittelte relative Sendezeit der Smart Meter in einzelnen Haushalten typischerweise bei weniger als 0.2% liegt, d.h. die Gesamt-Sendezeit liegt typischerweise bei weniger als ca. 3 Minuten binnen 24 Stunden.

5 LITERATUR

- [1] Österreichischer Verband für Elektrotechnik, “OVE Richtlinie R23-1, Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz. Teil 1: Begrenzung der Exposition von Personen der Allgemeinbevölkerung,” *Ausg. 2017-04-01*, 2017.
- [2] R. Hirtl *et al.*, “Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich – systematischer Review,” Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 3616S82437 im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Aug. 2018. [Online]. Available: <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2018080715819>

ANHANG A:

Messsystem PLC-SM-LZM (FCC) zur Erfassung der PLC-Smart Meter Langzeitaktivität im FCC-Band

Beim PLC-SM-LZM (FCC) handelt sich um eine einfache, exklusiv für die Salzburg Netz GmbH entwickelte experimentelle Messanordnung zur Erfassung der PLC-Smart Meter Aktivität im FCC-Frequenzband (150 kHz – 500 kHz) über längere Zeiträume, ohne die Notwendigkeit der aufwändigen Installation teurer Messsysteme.

Das PLC-SM-LZM (FCC) besteht aus den folgenden Komponenten (siehe Abbildung A1):

- A) Mini-PC CSL Narrow Box Ultra HD Compact V3
- B) Steckernetzteil (230 V_{AC} / 12 V_{DC}) für Mini-PC
- C) Filter- und Demodulatorschaltung (Seibersdorf Labor GmbH)
- D) Signalerfassungsmodul USB 6000 (National Instruments)
- E) WIMAXIT Portable Monitor (Touch Screen)
- F) Rogowski-Wandler (Seibersdorf Labor GmbH)
- G) Auswertesoftware PLC-SM-LZM (als *.exe) auf Mini-PC vorinstalliert
- H) Optional: Messadapter (Schuko-Stecker mit Kabelschleife und Netzfilterabschluss)

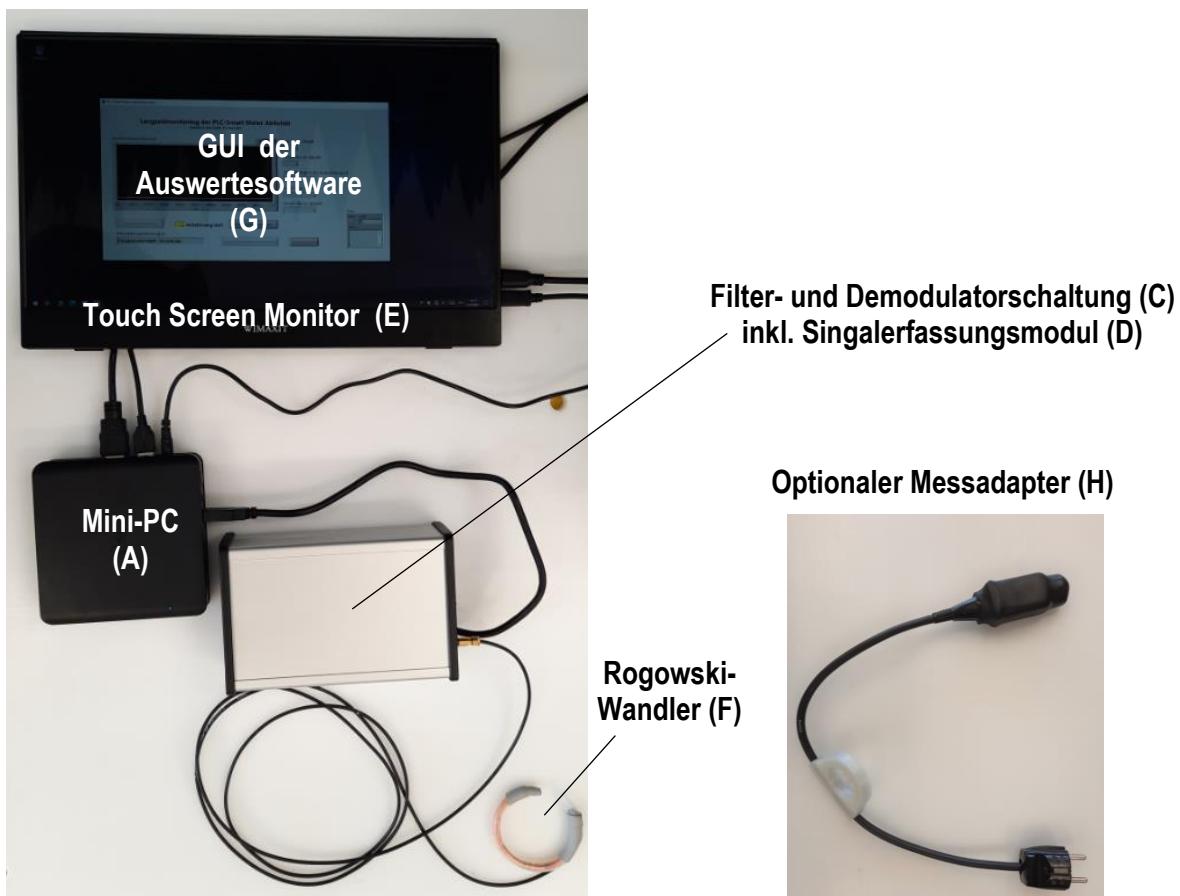


Abbildung A1: Komponenten des PLC-SM-LZM (FCC).

Die Filter- und Demodulatorschaltung (C) ist gemeinsam mit dem Datenerfassungsmodul USB 6000 (D) in einem Kleingerätegehäuse untergebracht.

Die Spannungsversorgung des Mini-PCs (A) erfolgt über ein Steckernetzteil (B, nicht in Abbildung A1 gezeigt). Alle weiteren aktiven Komponenten (C, D, E) werden über die USB-Schnittstellen des Mini-PCs mit 5 V Betriebsspannung versorgt.

Abbildung A2 zeigt ein vereinfachtes Blockschaltbild des PLC-SM-LZM (FCC). Die vom PLC Smart Meter auf L1 aufgeprägte Signalspannung führt, je nach Netzimpedanz, zu einem hochfrequenten (im Sendefrequenzbereich des Smart Meters liegenden) Strom I_{PLC} in L1 bzw. über kapazitive und induktive Kopplungsmechanismen auch in anderen Leitern. Dieser Strom wird vom Rogowski-Wandler in eine entsprechende hochfrequente Messspannung umgesetzt, die im ersten Schritt auf den Sendefrequenzbereich des Smart Meters bandbegrenzt und verstärkt wird. Um kostengünstige A/D-Wandlerkomponenten einsetzen zu können, wird dieses Signal anschließend demoduliert, sodass nach Demodulation und Tiefpass-Filterung nur mehr die Signaleinhüllende des PLC-Signals A/D-gewandelt und ausgewertet werden muss.

Auf Basis der Signaleinhüllenden des PLC-Signals wird die Anzahl der gesendeten HF-Bursts (Daten-Bursts) im Aufzeichnungszeitraum von der Auswertesoftware gezählt und daraus der effektive Duty Cycle errechnet (Abspeicherung in 1 s-Intervallen). Abbildung A3 zeigt die Signalanalyse anhand von schematisierten Beispielsignalen.

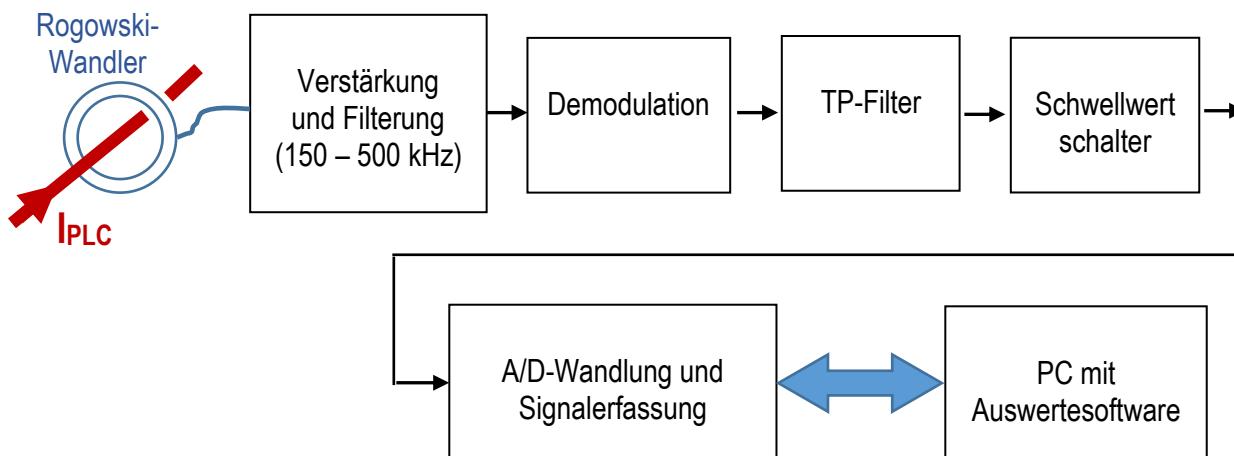
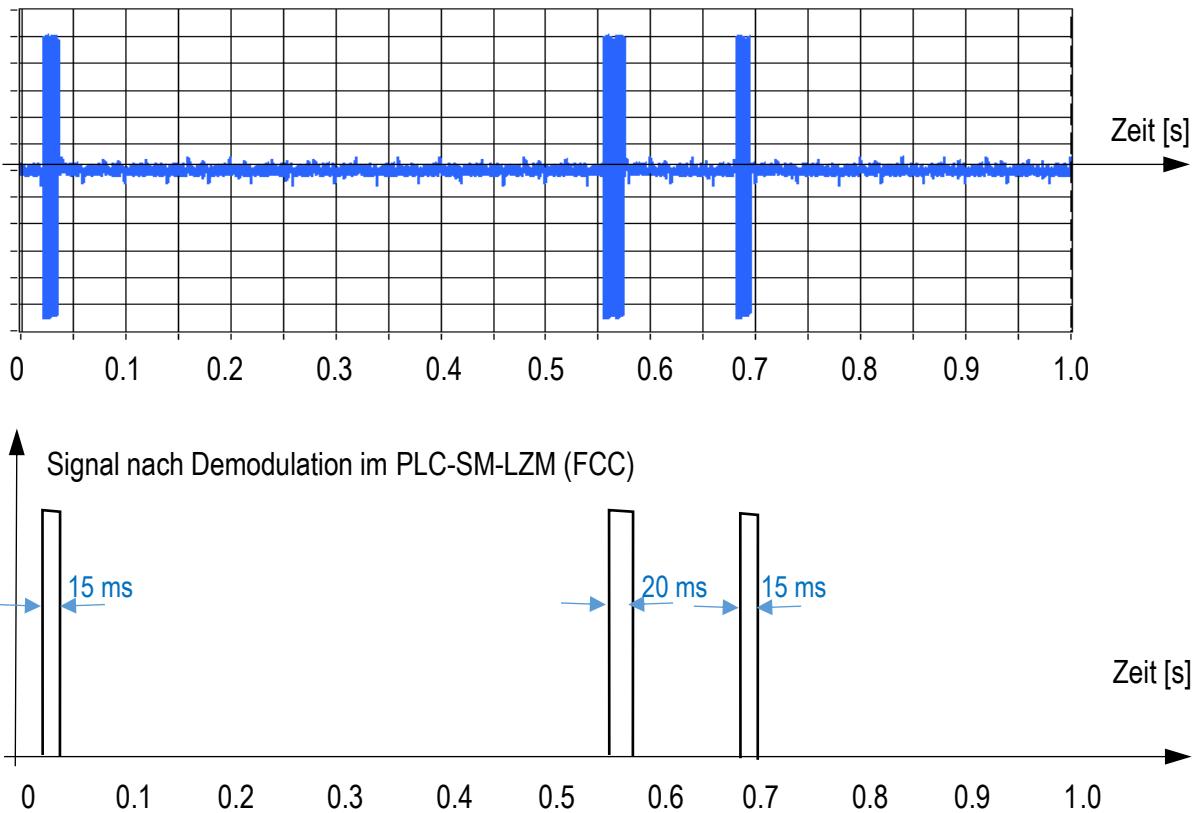


Abbildung A2: Vereinfachtes Blockschaltbild des PLC-SM-LZM (FCC).

Die beiden Ergebnisparameter **Anzahl Datenbursts aktuell** und **Duty Cycle aktuell** innerhalb eines 1 s Intervalls werden sekündlich ermittelt und von der PLC-SM-LZM (FCC) Software im Ergebnisdatenfile abgespeichert (siehe auch Kapitel 3).

Smart Meter Burst auf L1



Ergebnis der Datenauswertung der im PLC-SM-LZM (FCC) Software für das gezeigte 1s Intervall:

Anzahl Datenbursts aktuell: 3

Duty Cycle aktuell: $(15 \text{ ms} + 20 \text{ ms} + 15 \text{ ms}) / 1000 \text{ ms} = 0.05 (= 5 \%)$

Abbildung A3: Erläuterung der Signalauswertung im PLC-SM-LZM (FCC) anhand eines einfachen schematisierten Signalverlaufs innerhalb eines 1s Intervalls.

Das PLC-SM-LZM (FCC) detektiert Signale im Frequenzbereich von 150 kHz – 500 kHz, die zu einem Stromfluss von mehr als ca. 10 mA in dem vom Rogowski-Wandler umschlungenen Leiter führen, wobei vom PLC-SM-LZM (FCC) aufgrund des einfachen Funktionsprinzips nicht selektiv nach PLC-Signalen gesucht wird. Dies bedeutet, dass auch etwaige Störsignale mit entsprechend hohen Amplituden im Frequenzbereich 150 kHz – 500 kHz potenziell vom PLC-SM-LZM (FCC) detektiert werden.

Das Messverhalten des PLC-SM-LZM (FCC) ist daher grundsätzlich als konservativ anzusehen, d.h., die Messergebnisse tendieren zu einer Überschätzung der Smart Meter Aktivität.

Um drastische Überschätzungen in Situationen mit sehr viel Störsignalen auf den Leitungen zu vermeiden, wird daher empfohlen, die aufgezeichneten Daten einer Plausibilitätskontrolle zu unterziehen. Dazu eignet sich der Export der aufgezeichneten Daten in ein Softwareprogramm (z.B. MS Excel), das eine Weiterverarbeitung und Detailanalyse der Daten erlaubt (Abbildung A4). Anhaltspunkte für die Plausibilitätskontrolle können dabei die Zeitpunkte der auftretenden detektierten Bursts und/oder das Verhältnis der Anzahl der detektierten Bursts zum jeweiligen Duty Cycle sein. Sind beispielsweise seitens des PLC-

Kommunikationsprotokolls die minimale und maximale Datenpaketlänge und/oder der maximaler Duty Cycle innerhalb eines 1 s Intervalls bekannt, können Fehldetections im Rahmen des Postprocessings der aufgezeichneten Messdaten ausgefiltert werden. Insbesondere das Verhältnis von Anzahl der detektierten Bursts (N) zum Duty Cycle (DC) kann Hinweise auf Störsignal detections ergeben. Ist aus dem Übertragungsprotokoll die maximale Datenpaketlänge der PLC-Übertragung T_{MAX} bekannt, so deuten Messintervalle in denen $DC \geq N \cdot T_{MAX}$ ist, auf das Vorliegen eines Störsignals hin. Ebenso können, bei Kenntnis der minimalen Datenpaketlänge T_{MIN} , Messintervalle in denen $DC \leq N \cdot T_{MIN}$ ist, als beeinflusst von Störsignalen gedeutet werden.

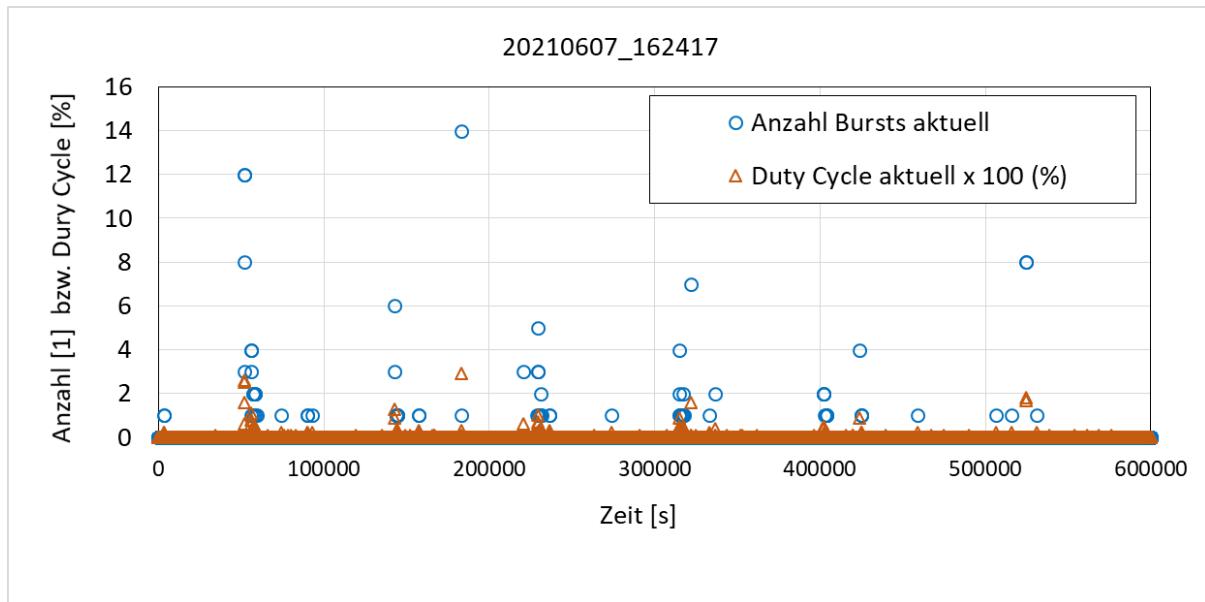


Abbildung A4: Anzeige gespeicherter Messdaten in MS Excel zur weiterführenden Detailanalyse.

ANHANG B:

Zusammenstellung der Messergebnisse (aktueller Duty Cycle) der Langzeitmessungen betreffend Smart Meter Aktivität

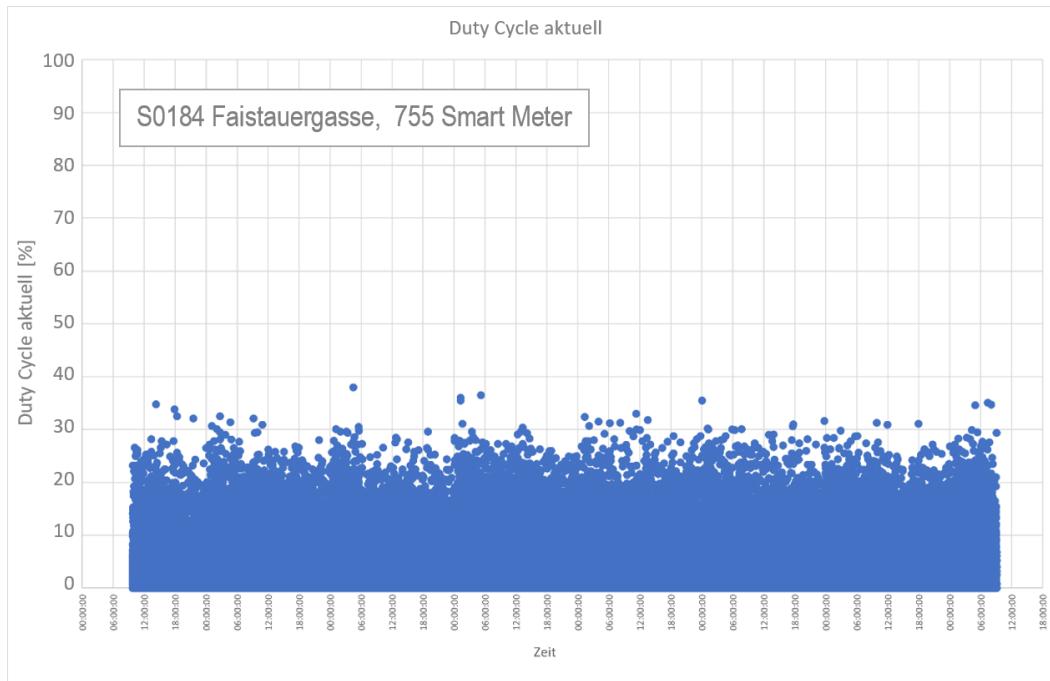


Abbildung B1: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S0184 Faistauergasse (755 angeschlossene Smart Meter).

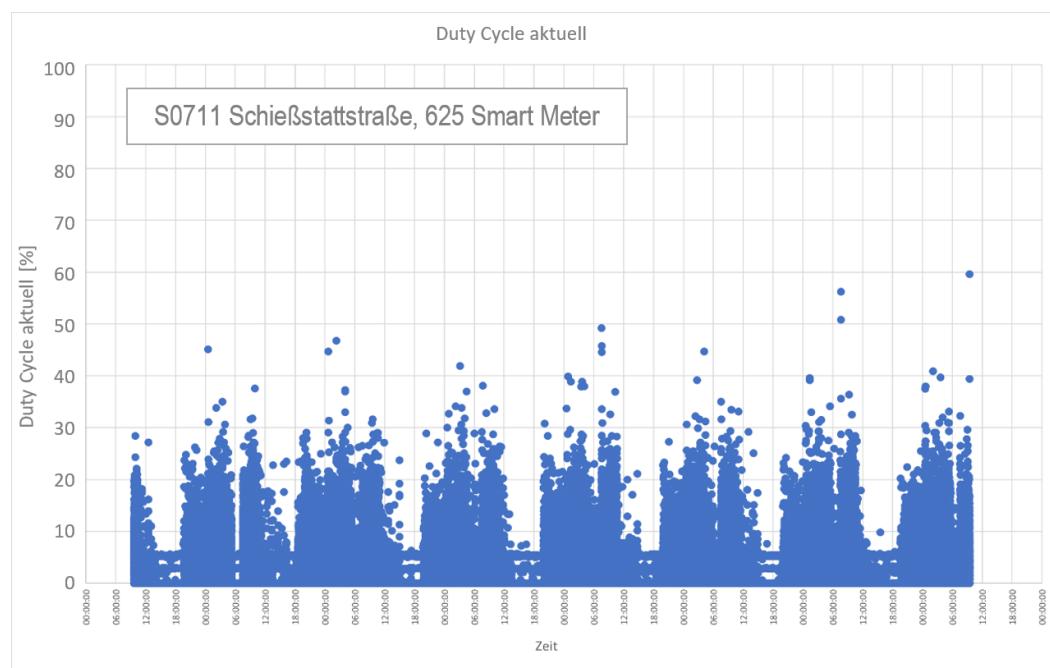


Abbildung B2: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S0711 Schießstattstraße (625 angeschlossene Smart Meter).

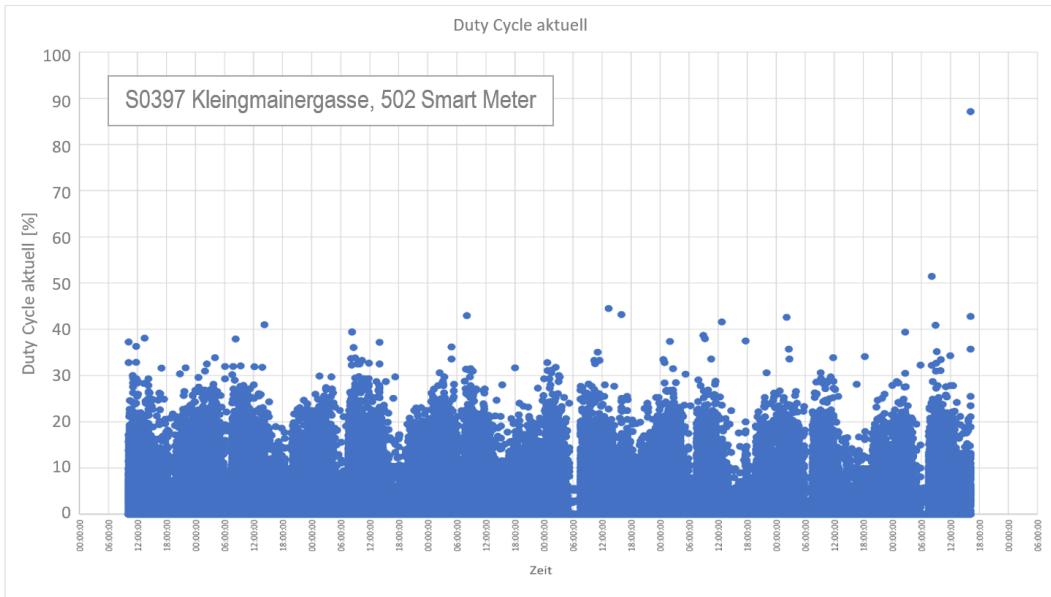


Abbildung B3: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S0397 Kleingmainergasse (502 angeschlossene Smart Meter).

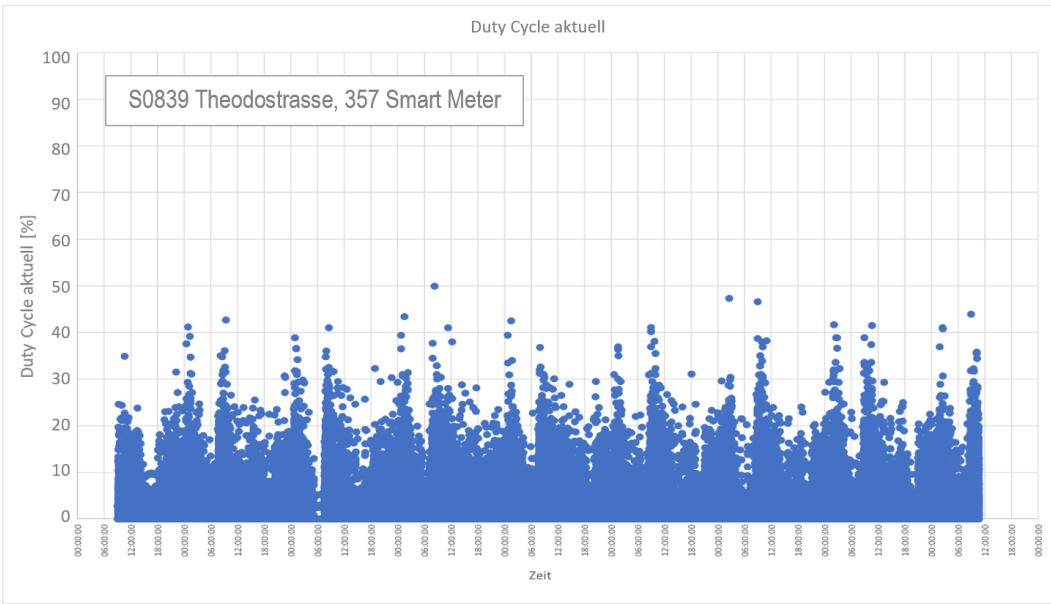


Abbildung B4: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S0839 Theodostraße (357 angeschlossene Smart Meter).

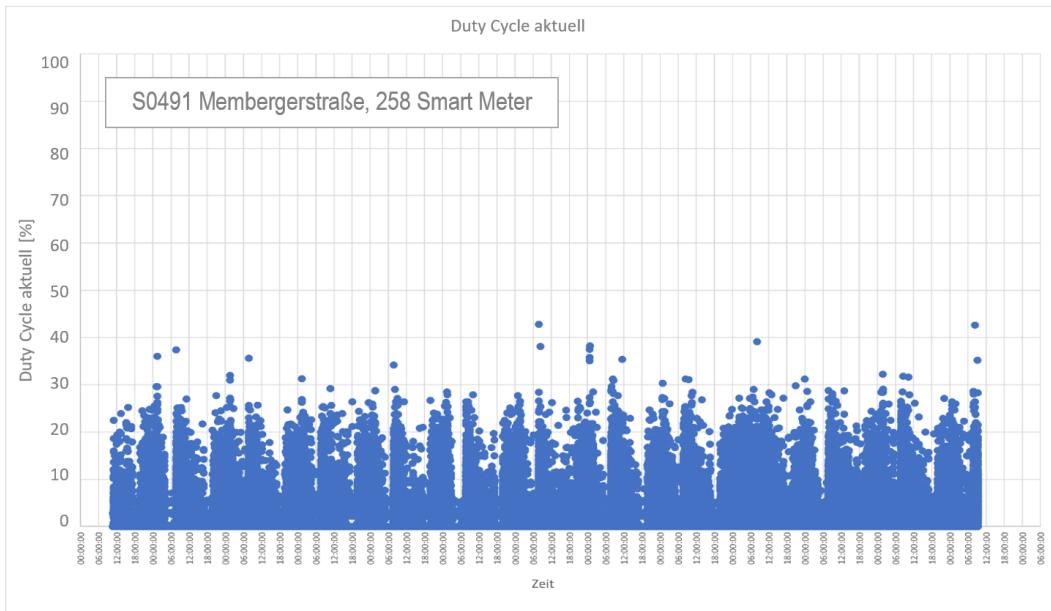


Abbildung B5: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S0491 Membergerstraße (258 angeschlossene Smart Meter).

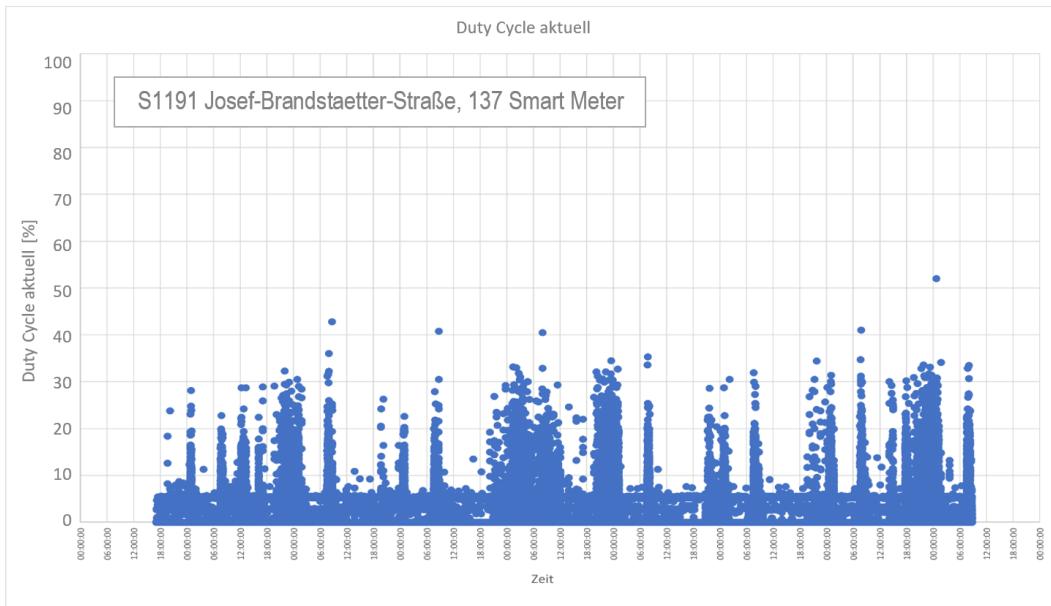


Abbildung B6: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S1191 Josef-Brandstaetter-Straße (137 angeschlossene Smart Meter).

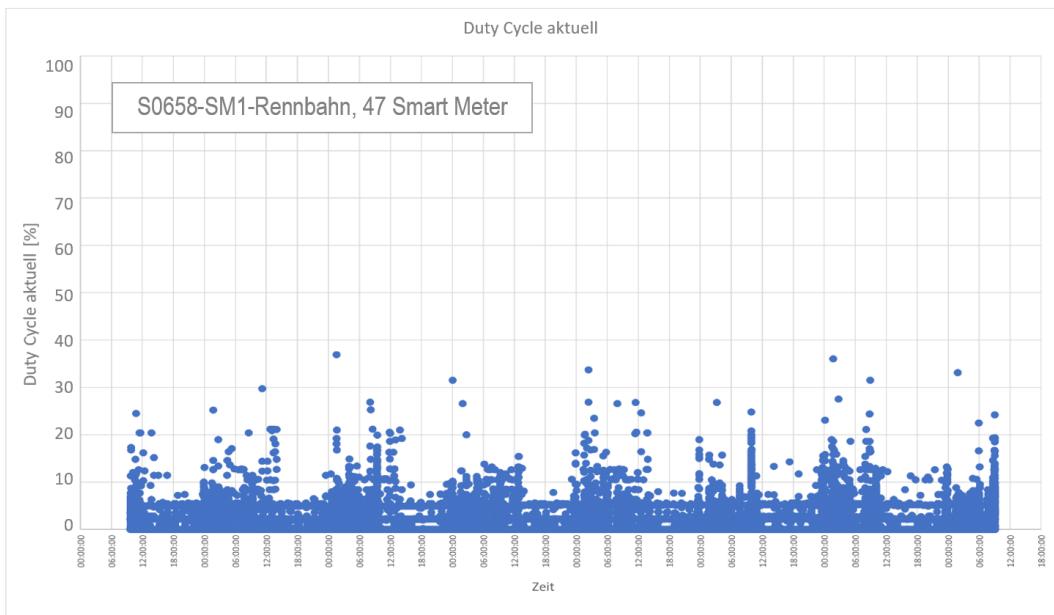


Abbildung B7: Zeitverlauf des aktuellen Duty Cycle (Beobachtungszeit jeweils 1 s) während der Langzeitmessungen am Gateway in der Trafostation S0658 SM1-Rennbahn (47 angeschlossene Smart Meter).