

## REPORT

# Messung und Bewertung der Exposition durch elektrische und magnetische Felder im Frequenzbereich 9 – 95 kHz bzw. 150 – 500 kHz, verursacht durch Smart Meter

Endbericht zu Forschungsprojekten 11.039 und 11.045

Gernot Schmid

05.03 2019  
Exemplar 1  
SL-LE-001/18

V2.0

Verteiler:

- 1-4 Österreichs Energie
- 5 Dr. Lamedschwandner
- 6 DI. Schmid
- 7 Sekretariat/Ablage

Messung und Bewertung der Exposition durch  
elektrische und magnetische Felder im  
Frequenzbereich 36 – 95 kHz bzw. 150 – 500 kHz,  
verursacht durch Smart Meter

**Endbericht**

Auftraggeber

**Österreichs E-Wirtschaft  
Forschung & Innovation  
Brahmsplatz 3, 1040 Wien**

Projekt Nr. 11.039 und 11.045

Gernot Schmid

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

# ZUSAMMENFASSUNG

## Hintergrund und Aufgabenstellung

Um die zufolge der Verbreitung von PLC-basierten Smart Metern in der häuslicher Umgebung verursachte Exposition von Personen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern zu erfassen, wurden systematische Messungen in zwei unterschiedlichen Gebäudetypen durchgeführt und die gemessenen Immissionen auf Basis der gegenwärtig in Österreich anzuwendenden Referenzwerte nach OVE R 23-1 bewertet.

## Immissionsmessungen

Die Messungen wurden an jeweils mehreren Messpunkten in einem Einfamilien-Reihenhaus (mit Erdgeschoß und Obergeschoß, und einem im Erdgeschoß installierten Smart Meter) und in einer Mehrparteien Wohnhausanlage (mit Kellergeschoß, Erdgeschoß, 3. Etagen und Dachgeschoß, und insgesamt 10 im Zählerraum im Kellergeschoß installierten Smart Metern) in einer Region in Oberösterreich durchgeführt, die bereits flächendeckend mit PLC-Smart Metern mit Datenübertragung im CENELEC A Band (36 kHz – 95 kHz) versorgt ist. Um auch die von Smart Metern mit Datenübertragung im FCC Band (150 kHz – 500 kHz) verursachten Immissionen zu erfassen, wurde für den Zeitraum der Messungen in beiden untersuchten Gebäuden, zusätzlich zu den bereits vorhandenen CENELEC A Band Smart Metern, provisorisch ein FCC Band Smart Meter im Zählerkasten (im EG des Einfamilien-Reihenhauses) bzw. im Zählerraum (im Keller der Mehrparteien Wohnhausanlage) installiert und in Betrieb genommen.

## Ergebnis

In typischen Aufenthaltsbereichen ( $> 20$  cm Distanz zu Wänden bzw. Komponenten der Elektroinstallation) liegen die den Smart Metern zuordenbaren Expositionsquotienten  $EQS_B$  für das Magnetfeld bezüglich nicht-thermischer Wirkungen deutlich unterhalb von 0,1%, wobei die Immissionen im FCC Band (max. 0,02%) deutlich geringer waren als im CENELEC A Band. In unmittelbarer Nähe zu Komponenten der Elektroinstallation bzw. daran angeschlossener Verbraucher wurden  $EQS_B$  Werte bis zu ca. 1% (CENELEC A Band) bzw. 0,4% (FCC Band) festgestellt. Die Bewertung der gemessenen elektrischen Feldstärken hinsichtlich nicht-thermischer Wirkungen führte in typischen Aufenthaltsbereichen auf Expositionsquotienten  $EQS_E$  von ca. 0,1%-0,5% (CENELEC A Band) bzw. 0,1%-0,3% (FCC Band). Insgesamt ergibt sich daraus in typischen Aufenthaltsbereichen ein den Smart Metern zuordenbarer Gesamtexpositionsquotient bezüglich nicht-thermischer Wirkung  $GEQS$  im Bereich von ca. 0,1% bis 0,5%, wobei die Immissionen im FCC Band tendenziell geringer sind als jene im CENELEC A Band.

Bezüglich thermisch wirksamer Immissionen (nur für FCC Band relevant) lagen die Expositionsquotienten in allen untersuchten Messpositionen unterhalb von 0,0005%, also bei sehr geringen Werten.

Die Anzahl der installierten Smart Meter hat keinen relevanten Einfluss auf die resultierende Exposition im jeweiligen Frequenzband (CENELEC A oder FCC), da für die Bewertung von nicht-thermisch wirksamen Immissionen gemäß OVE-R23-1 ausschließlich der Maximalwert der Immissionen (und nicht der Zeitmittelwert) ausschlaggebend ist, und das von den Smart Metern genutzte Übertragungsprotokoll das gleichzeitige Senden zweier oder mehrerer Smart Meter nicht zulässt.

## Conclusio

Die von Smart Metern in der häuslichen Wohnumgebung verursachte Exposition von Personen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern ist sehr gering und liegt typischerweise nur im Bereich von Bruchteilen von Prozent der zulässigen Werte.

# INHALT

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>HINTERGRUND UND AUFGABENSTELLUNG</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1      | Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern | 4         |
| 1.2      | Konkrete Aufgabenstellung  | 6         |
| <b>2</b> | <b>IMMISSIONSMESSUNGEN</b>   | <b>8</b>  |
| 2.1      | Mess- und Bewertungsmethoden   | 8         |
| 2.2      | Messunsicherheit   | 10        |
| 2.3      | Untersuchte Messpunkte und installierte Smart Meter  | 10        |
| 2.3.1    | Einfamilienhaus  | 11        |
| 2.3.2    | Mehrparteien Wohnhausanlage  | 14        |
| <b>3</b> | <b>ERGEBNISSE</b>  | <b>17</b> |
| 3.1      | Charakteristika der Immissionen im Zeit- und Frequenzbereich                                       | 17        |
| 3.2      | Bewertung der Immissionen gemäß OVE R 23-1   | 21        |
| 3.2.1    | Immissionen im CENELEC A Band  | 21        |
| 3.2.2    | Immissionen im FCC Band  | 24        |
| 3.2.3    | Gesamtschau der der erhobenen Immissionsdaten  | 26        |
| 3.3      | Vergleich mit Immissionen verursacht durch andere Technologien                                     | 31        |
| <b>4</b> | <b>LITERATUR</b>   | <b>33</b> |
| <b>5</b> | <b>DANKSAGUNG</b>  | <b>34</b> |

# 1 HINTERGRUND UND AUFGABENSTELLUNG

## 1.1 Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern

Für die Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gilt seit April 2017 die OVE Richtlinie R 23-1 [1] als Stand der Technik (ersetzt die frühere ÖNORM E8850). Zur Vermeidung von nicht-thermischen biologischen Wirkungen (Reizwirkungen) sind darin im Frequenzbereich bis 10 MHz Basisgrenzwerte in Form der im Körpergewebe induzierten (intrakorporalen) 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 intrakorporal 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 R23-1 festgelegten Basisgrenzwerte und Referenzwerte zusammen.

| Gewebe                     | Frequenzbereich                             | Basisgrenzwert für $E_i$ [V/m]<br>Effektivwerte |
|----------------------------|---|---|
| Zentralnervensystem<br>ZNS | $1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$       | $0,1 / f$                                       |
|                            | $10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$      | 0,01  |
|                            | $25 \text{ Hz} \leq f \leq 1000 \text{ Hz}$ | $4 \times 10^{-4} \times f$                     |
|                            | $1 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$      | 0,4   |
|                            | $3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$  | $1,35 \times 10^{-4} \times f$                  |
| Alle Gewebe                | $1 \text{ kHz} \leq f < 3 \text{ kHz}$      | 0,4   |
|                            | $3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$  | $1,35 \times 10^{-4} \times f$                  |
| f ... Frequenz in Hz       |   |   |

**Tabelle 1.1:** Basisgrenzwerte gemäß OVE R23-1 zum Schutz vor nicht-thermischen Wirkungen (Reizwirkungen)

| Körperregion   | Frequenzbereich      | Basisgrenzwert SAR [W/kg] |
|--|----------------------|---------------------------|
| Ganzkörpermittelwert <sup>a)</sup>   | 100 kHz ≤ f < 10 GHz | 0,08                      |
| Kopf und Rumpf <sup>b)</sup>   |                      | 2,0                       |
| Gliedmaßen <sup>b)</sup>   |                      | 4,0                       |
| <sup>a)</sup> Gesamte im Körper absorbierte Strahlungsleistung dividiert durch Körpermasse<br><sup>b)</sup> Maximalwert der über 10g würfelförmiges Körpergewebe gemittelten SAR |                      |                           |

**Tabelle 1.2:** Basisgrenzwerte gemäß OVE R23-1 zum Schutz thermischen Wirkungen im Frequenzbereich bis 10 GHz

| Frequenzbereich  | Referenzwerte (Effektivwerte) |                                      |
|--|-------------------------------|--------------------------------------|
|  | E [V/m]                       | B [μT]                               |
| 0 Hz ≤ f < 0,1 Hz  | 5 × 10 <sup>3</sup>           | 4 × 10 <sup>5</sup>                  |
| 0,1 Hz ≤ f < 1 Hz  | 5 × 10 <sup>3</sup>           | 4 × 10 <sup>4</sup> / f              |
| 1 Hz ≤ f < 8 Hz  | 5 × 10 <sup>3</sup>           | 4 × 10 <sup>4</sup> / f <sup>2</sup> |
| 8 Hz ≤ f < 25 Hz   | 5 × 10 <sup>3</sup>           | 0,5 × 10 <sup>4</sup> / f            |
| 25 Hz ≤ f < 50 Hz  | 5 × 10 <sup>3</sup>           | 200                                  |
| 0,05 kHz ≤ f < 0,4 kHz   | 250 / f                       | 200                                  |
| 0,4 kHz ≤ f < 3 kHz  | 250 / f                       | 80 / f                               |
| 3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz   | 83                            | 27                                   |
| f ... Frequenz in Einheiten, wie in der Frequenzbereichsspalte angegeben |                               |                                      |

**Tabelle 1.3:** Referenzwerte für die äußere elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte gemäß OVE R23-1 zum Schutz vor nicht-thermischen Wirkungen (Reizwirkungen)

| Frequenzbereich   | Referenzwerte (Effektivwerte) |                           |
|---|-------------------------------|---------------------------|
|   | E [V/m]                       | B [μT]                    |
| 0,1 MHz ≤ f < 1 MHz   | 87                            | 0,92 / f                  |
| 1 MHz ≤ f < 10 MHz  | 87 / f <sup>1/2</sup>         | 0,92 / f                  |
| 10 MHz ≤ f < 400 MHz  | 28                            | 0,092                     |
| 400 MHz ≤ f < 2000 MHz  | 1,375 × f <sup>1/2</sup>      | 0,0046 × f <sup>1/2</sup> |
| 2 GHz ≤ f ≤ 300 GHz   | 61                            | 0,2                       |
| f ... Frequenz in Einheiten, 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 |                               |                           |

**Tabelle 1.4:** Referenzwerte für die äußere elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte gemäß OVE R23-1 zum Schutz vor thermischen Wirkungen

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:

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

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

Einem konservativen Ansatz folgend sind gemäß OVE R23-1 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:

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

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-vernachlässigbare Immissionsanteil zur Gesamtimmission beitragen, bei der Bewertung berücksichtigt werden. Um dies zu gewährleisten stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, die auch in OVE RL 23-1 beschrieben sind. Das gegenwärtig zuverlässigste 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) angewendet werden kann, vermeidet Überschätzungen der tatsächlichen Immissionen, wie sie bei der Bewertung auf Grundlage von stark vereinfachten Methoden (wie z.B. der Multifrequenzregel MFR) auftreten<sup>1</sup>.

## 1.2 Konkrete Aufgabenstellung

Da das zur Zeit in Österreich stattfindende flächendeckende RollOut von PLC-basierten Smart Metern in Teilen der Bevölkerung zu Fragen bezüglich der Exposition gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern in der Wohnumgebung führt, waren Messungen der von Smart Metern verursachten elektrischen und magnetischen Immissionen an unterschiedlichen Positionen in Wohnräumen durchzuführen und zu bewerten. Dabei sollten

<sup>1</sup> 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.



sowohl Immissionen, wie sie durch Smart Meter mit Übertragungsfrequenzbereich im CENELEC A Band (36 kHz – 95 kHz), als auch Immissionen, wie sie durch Smart Meter mit Übertragungsfrequenzbereich im FCC Band (150 kHz – 500 kHz) entstehen, erfasst werden. Weiters sollten unterschiedliche Gebäudetypen (Einfamilienhaus und Mehrparteienhaus) betrachtet werden. Alle Messergebnisse waren schließlich systematisch im Hinblick auf die resultierende Exposition in der Wohnumgebung zu bewerten.

## 2 IMMISSIONSMESSUNGEN

### 2.1 Mess- und Bewertungsmethoden

Die wesentliche Herausforderung bei der Messung der von Smart Metern verursachten elektrischen und magnetischen Felder ist deren geringe Intensität, im Vergleich zu den üblichen (hauptsächlich 50 Hz- dominierten) 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 zusammengestellt. In jedem untersuchten Messpunkt wurden unmittelbar aufeinanderfolgend Messungen mit den Messaufnehmern ESM100, Active Monopole 3301B und Shielded Active Loop 6507 durchgeführt und der Zeitverlauf der Immissionssignale aufgezeichnet. Zusätzlich erfolgten in jedem Messpunkt direkte Messungen des Expositionsquotienten (für Reizwirkung, im Frequenzbereich 5 Hz – 400 kHz) mittels des Messgerätes ELT400, das die WPM-TD Bewertung in Hardware implementiert hat und damit das direkte Ablesen des  $EQ_B$  erlaubt.

| Gerät                               | Hersteller         | Messgröße | Frequenzbereich |
|-------------------------------------|--------------------|-----------|-----------------|
| ESM100                              | Maschek Elektronik | E + B     | 5 Hz – 400 kHz  |
| Active Monopole 3301B               | EMCO               | E         | 9 kHz – 30 MHz  |
| Shielded Active Loop 6507           | EMCO               | B         | 9 kHz – 30 MHz  |
| ELT400 mit 100cm <sup>2</sup> Sonde | Narda              | B         | 5 Hz – 400 kHz  |
| Oszilloskop RTO 1024                | Rohde & Schwarz    | -         | -               |

Tabelle 2.1: Verwendete Messgeräte

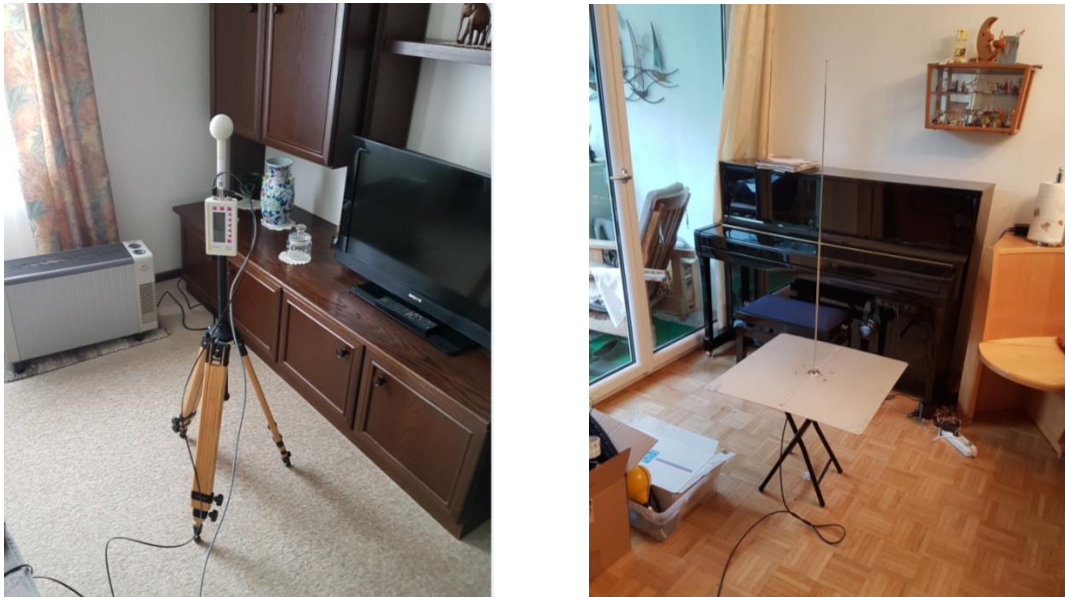
Der Messaufnehmer ESM100 (Abbildung 2.1, links) erlaubt unmittelbar das Auslesen des Zeitverlaufs sowohl der elektrischen Feldstärke als auch der magnetischen Flussdichte in drei zueinander orthogonalen Raumrichtungen, sodass aus den aufgezeichneten Zeitverläufen die resultierenden Vektoren für E und B gebildet werden können.

Mit dem Active Monopole 3301B (Abbildung 2.1, rechts) ist ausschließlich die Erfassung der vertikalen Komponente der elektrischen Feldstärke E möglich. Aus physikalischer Sicht kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der dadurch entstehende Messfehler innerhalb akzeptabler Grenzen bleibt. Aus einzelnen Vergleichen von mit der ESM100 und mit dem Active Monopole 3301B erhobenen Messwerten lässt sich eine Abweichung (der über die Länge des Monopols gemittelten elektrischen Feldstärke) im Ausmaß von nicht mehr als ca.  $\pm 30\%$  feststellen.

Bei den Messungen der magnetischen Flussdichte mittels der Active Loop 6507 (Abbildung 2.2) wurde jeweils die magnetische Flussdichte in drei zueinander orthogonalen Raumrichtungen separat, unmittelbar hintereinander gemessen und aufgezeichnet, und daraus der resultierende Vektor der magnetischen Flussdichte ermittelt.

Mit allen Messaufnehmern wurden in allen Messpositionen und in allen untersuchten räumlichen Ausrichtungen mehrere Messungen unmittelbar hintereinander durchgeführt.

Alle aufgezeichneten Zeitverläufe der Immissionen wurden mittels WPM (implementiert in LabView™) im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung, auf Grundlage der in OVE R23-1 festgelegten Referenzwerte bewertet.



**Abbildung 2.1:** Verwendete E/B-Feldsonde ESM100 (links) und verwendeter Active Monopole 3301B (rechts)



**Abbildung 2.2:** Verwendete Shielded Active Loop 6507 in den drei separat gemessenen orthogonalen Ausrichtungen zur Erfassung des Gesamtvektors der magnetischen Flussdichte.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Messungen erfolgten begleitende frequenzselektive Messungen der elektrischen und magnetischen Feldstärke (Messgerät: SRM6000, Narda) an den untersuchten Messpositionen durch Dr. Andreas Abart (Netz Oberösterreich GmbH).

## 2.2 Messunsicherheit

Die Standard-Kalibrierunsicherheit der verwendeten Messgeräte liegt innerhalb von  $\pm 8\%$ .

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 Messungen dominiert, d.h., die Tatsache, dass die drei in orthogonalen Raumrichtungen durchgeführten Messungen nicht simultan, sondern nur zeitlich hintereinander durchgeführt werden konnten. Auf Basis von Mehrfachmessungen in jeder Raumrichtung kann dieser Unsicherheitsbeitrag auf den Bereich von ca.  $\pm 30\%$  eingeschränkt werden, und liegt damit näherungsweise im gleichen Bereich wie die Unsicherheit zufolge der nur uniaxial durchführbaren Messung der elektrischen Feldstärke mit dem Active Monopol 3301B. Angemerkt wird in diesem Zusammenhang, dass für die Bildung des Gesamtvektors jeweils die größten Messwerte aus den drei Raumrichtungen verwendet wurden, sodass sich die angegebene Unsicherheit mit großer Wahrscheinlichkeit in Richtung einer Überschätzung der tatsächlichen Immissionen verschoben ist.

Schließlich liefert auch die Welligkeit der Frequenzgänge (Antennenfaktoren) des Active Monopol 3301B und der Active Loop 6507 im Frequenzbereich der Smart Meter Übertragungsfrequenzbänder einen Unsicherheitsbeitrag. Im CENELEC Frequenzband liegt dieser Unsicherheitsbeitrag bei  $\pm 15\%$  (magnetische Flussdichte) bzw.  $\pm 11\%$  (elektrische Feldstärke), während er im FCC Band  $<\pm 2\%$  beträgt.

Unter Annahme statistischer Unabhängigkeit der einzelnen relevanten Unsicherheitsbeiträge kann daraus in konservativer Weise eine maximale Gesamtunsicherheit von  $\pm 35\%$  abgeleitet werden.

## 2.3 Untersuchte Messpunkte und installierte Smart Meter

Es wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Wohnhaustypen untersucht, nämlich ein Einfamilien-Reihenhaus (mit Erdgeschoß und Obergeschoß) und eine Mehrparteien Wohnhausanlage (Kellergeschoß, Erdgeschoß, 3 Etagen, Dachgeschoß). In beiden Gebäuden sind seit längerem Smart Meter mit Übertragung im CENELEC A Band im Routinebetrieb vorhanden (ein Smart Meter im Einfamilienhaus, zehn Smart Meter im Zählerraum im Kellergeschoß der Mehrparteien Wohnhausanlage). Für die Immissionsmessungen wurde zusätzlich ein Smart Meter mit Übertragung im FCC-Band, sowie ein zugehöriger Datenkonzentrator am Hausanschluss (Zählerkasten bzw. Zählerraum) installiert (Abbildung 2.3).

**Smart Meter Type im CENELEC A Band:** TD3511 (Siemens), 36 kHz – 95 kHz

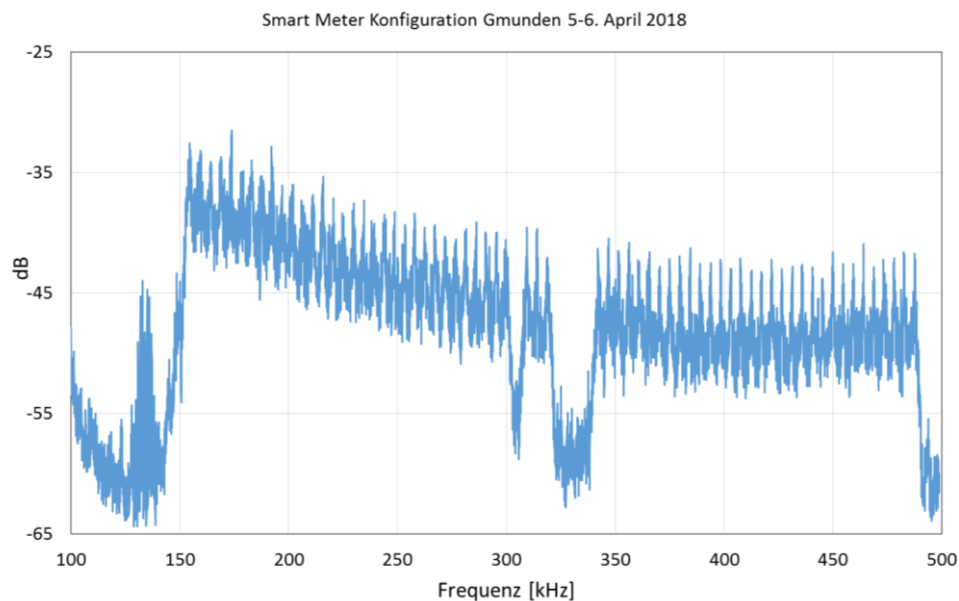
**Smart Meter Type im FCC Band:** E450 S4 G3 (Landis + Gyr), 150 kHz – 500 kHz

Da innerhalb des Übertragungsfrequenzbereichs des FCC Bandes (150 kHz – 500 kHz) in Mitteleuropa teilweise auch Funkdienste zur Flugsicherung (Non Directional Beacons, NDB) betrieben werden, wurde das Sendespektrum des eingesetzten FCC Band Smart Meters in Abstimmung und mit Genehmigung der Austro Control GmbH eingeschränkt, um mögliche Störungen der genannten Flugsicherungsdienste in der Region zu vermeiden. Konkret

sollten gemäß Austro Control die Subcarrier 37, 38 und 39 aus dem Sendespektrum des Smart Meters ausgeblendet werden (Abbildung 2.4).



**Abbildung 2.3:** Zählerraum im Keller der Mehrparteienwohnanlage mit fest installierten Siemens TD3511 Smart Metern (CENELEC A Band) und provisorisch für die Messungen installiertem Landis+Gyr E450 S4 G3 Smart Meter (links unten) und zugehörigem Datenkonzentrator (rechts unten). Foto zur Verfügung gestellt von Ing. Günther Gmeindl (Netz Burgenland).



**Abbildung 2.4:** Sendespektrum des bei den Messungen eingesetzten FCC Band Smart Meters, gemessen mit Active Loop 6507 in unmittelbarer Nähe zum Smart Meter. Subcarrier 37, 38, 39 sind ausgeblendet.

### 2.3.1 Einfamilienhaus

Im Einfamilien-Reihenhaus (Cumberlandpark, 4810 Gmunden) wurden Messungen im Erdgeschoß (Vorraum unmittelbar vor Zählerkasten, Küche, Wohnzimmer, Terrasse) und im Obergeschoß (Schlafzimmer) durchgeführt. Das bereits vorhandene CENELEC A Band Smart Meter ist fix im Zählerkasten installiert, das für die Messungen zusätzlich installierte FCC Band Smart Meter wurde ebenfalls im Zählerkasten provisorisch angeschlossen.

Abbildung 2.5 bis Abbildung 2.8 zeigen Lageskizzen und Fotos der untersuchten Messpositionen im Einfamilien-Reihenhaus.

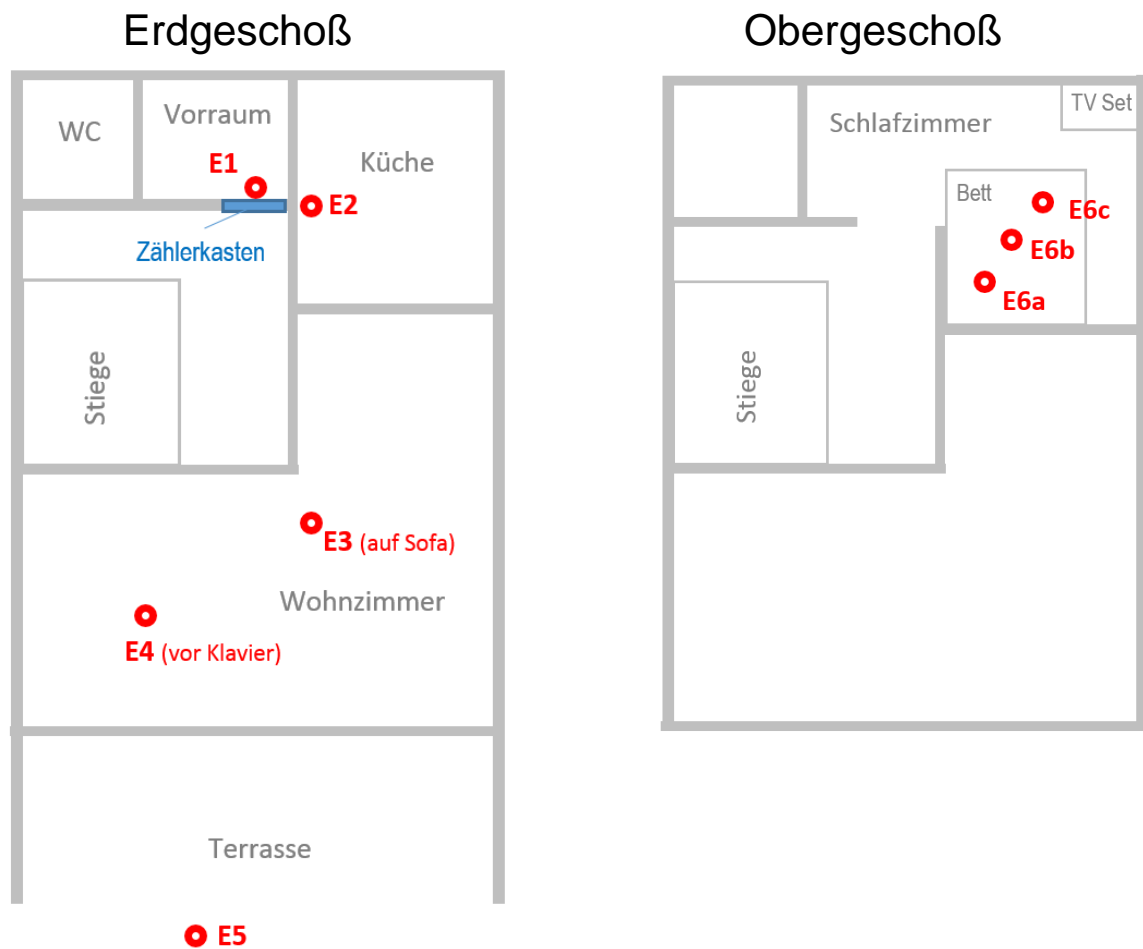


Abbildung 2.5: Lageskizze (ohne Maßstab) mit Kennzeichnung der Messpunkte E1-E6 im Einfamilien-Reihenhaus



**Abbildung 2.6:** Messpunkte E1 vor dem Zählerkasten, unmittelbar vor dem Smart Meter (links) und E2 in der Küche nahe der Wand in der der Zählerkasten verbaut ist (rechts)



**Abbildung 2.7:** Messpunkte E3 auf dem Sofa im Wohnzimmer (links) und E4 vor dem Klavier im Wohnzimmer (rechts)



**Abbildung 2.8:** Messpunkte E5 auf der Terrasse (links) und E6a am Bett im Schlafzimmer (rechts)

Die Messungen im Einfamilien-Reihenhaus fanden in den Zeiträumen 31.08. – 01.09.2017 (nur CENELEC A Band Smart Meter) und 05.04. - 06.04.2018 (CENELEC A Band Smart Meter und FCC Band Smart Meter) statt.

An Messpunkt E1 wurden Messungen nur im Rahmen der ersten Messreihe (31.08. – 01.09.2017) im CENELEC A Band durchgeführt. Grund dafür ist, dass durch den provisorischen Anschluss des FCC Band Smart Meters während der zweiten Messreihe (Smart Meter zwar vor dem Zählerkasten aufgestellt, jedoch nicht im Zählerkasten verbaut und mit Einzeldrähten angeschlossen) in unmittelbarer Nähe zum Zählerkasten keine für den üblichen Betrieb repräsentativen Immissionswerte zu erwarten waren.

Weiters erfolgte im Rahmen der zweiten Messserie aus Zeitgründen auch keine Messung am Messpunkt E6b.

### **2.3.2 Mehrparteien Wohnhausanlage**

In der Wohnhausanlage (Miller von Aichholz Straße 11 , 4810 Gmunden) wurden Messungen im Treppenhaus (Messpunkt M1, Halbstock zwischen EG und erstem Obergeschoß), in Wohnungen im ersten und im zweiten Obergeschoß (Messpunkte M2 - M5, jeweils im Flur vor dem Verteilerkasten, sowie im Wohnzimmer vor dem TV Gerät), und im Dachgeschoß (Messpunkte M6 und M7) vor einem E-Verteiler und in einem Nebenraum) durchgeführt. Die bereits vorhandenen CENELEC A Band Smart Meter (insgesamt 10 Stück) sind für alle Wohnungen im Keller in einem Zählerraum installiert. Das für die Messungen zusätzlich installierte FCC Band Smart Meter wurde ebenfalls im Zählerraum provisorisch angeschlossen (Abbildung 2.3). Abbildung 2.9 bis Abbildung 2.12 zeigen Fotos der untersuchten Messpositionen in der Mehrparteien Wohnhausanlage.

Es wurden keine Messungen im Zählerraum durchgeführt. Grund dafür war, dass durch den provisorischen Anschluss des FCC Band Smart Meters (Smart Meter nicht im Zählerkasten verbaut und mit Einzeldrähten angeschlossen, vgl. Abbildung 2.3) im Zählerraum keine für den üblichen Betrieb repräsentativen Immissionswerte zu erwarten waren.





**Abbildung 2.9:** Mehrparteien Wohnhausanlage in der Miller von Aichholz Straße 11, 4810 Gmunden (links) und Messpunkt M1 im Treppenhaus zwischen EG und 1. OG (rechts)



**Abbildung 2.10:** Messpunkte M2 im Flur vor dem Verteilerkasten (links) und M3 im Wohnzimmer vor dem Fernseher (rechts) in einer Wohnung im 1. OG.



**Abbildung 2.11:** Messpunkte M4 im Flur vor dem Verteilerkasten (links) und M5 im Wohnzimmer vor dem Fernseher (rechts) in einer Wohnung im 2. OG.



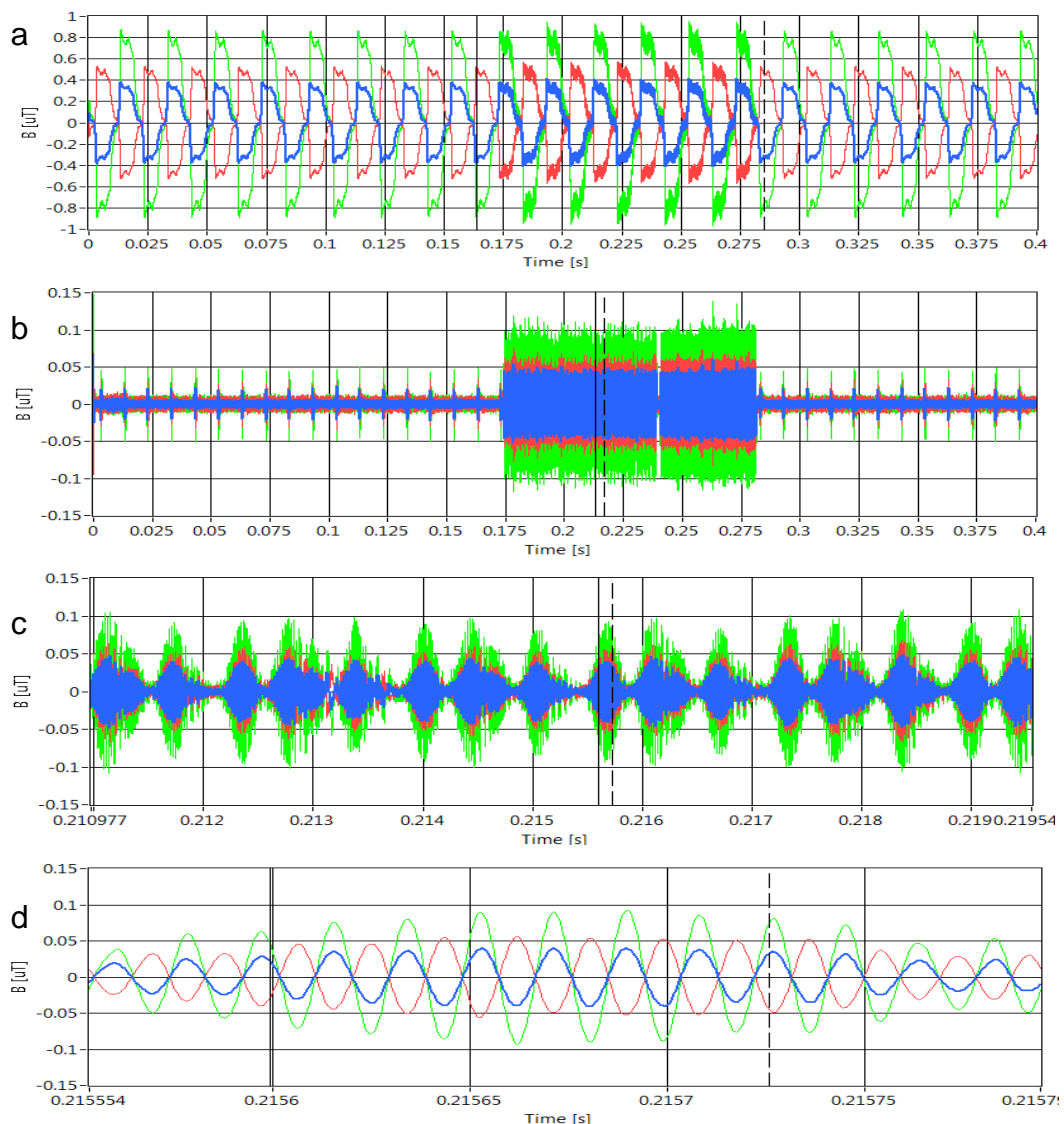
**Abbildung 2.12:** Messpunkte M6 im Flur vor einem Verteilerkasten (links) und M7 in einem Nebenraum (rechts) im Dachgeschoß

Die Messungen in der Mehrparteien Wohnhausanlage fanden im Zeitraum 05.04.-06.04.2018 (CENELEC A Band Smart Meter und FCC Band Smart Meter) statt.

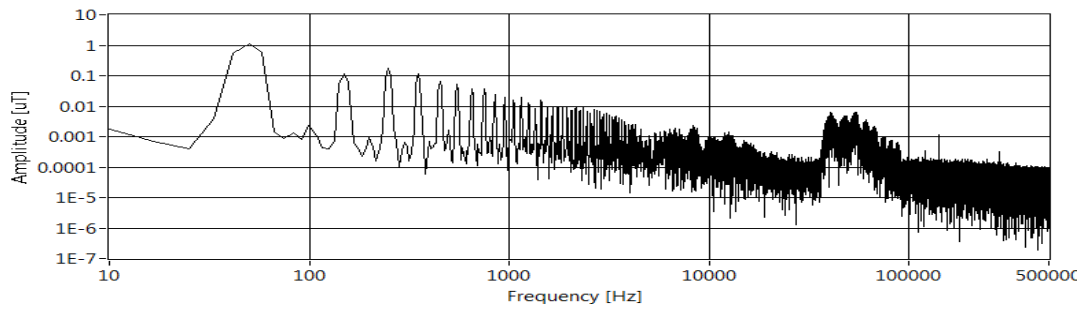
### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Charakteristika der Immissionen im Zeit- und Frequenzbereich

Der Zeitverlauf der von den Smart Meter verursachten elektrischen und magnetischen Immissionen ist vom Übertragungsprotokoll (Häufigkeit und Abfolge der Übertragung von Datenpaketen unterschiedlicher Länge) und vom Übertragungsverfahren OFDM geprägt. Da die Signalamplituden des PLC-Signals im Vergleich zu den Amplituden der 50 Hz Immissionen sehr gering sind, sind die PLC-Immissionen bei Breitbandmessung (5 Hz – 400 kHz) im Messsignal kaum erkennbar. Abbildung 3.1 zeigt ein Beispiel eines gemessenen Zeitverlaufes der magnetischen Flussdichte (5 Hz – 400 kHz) während Datenübertragung im CENELEC A Band und Abbildung 3.2 zeigt das Frequenzspektrum des gemessenen Signals.

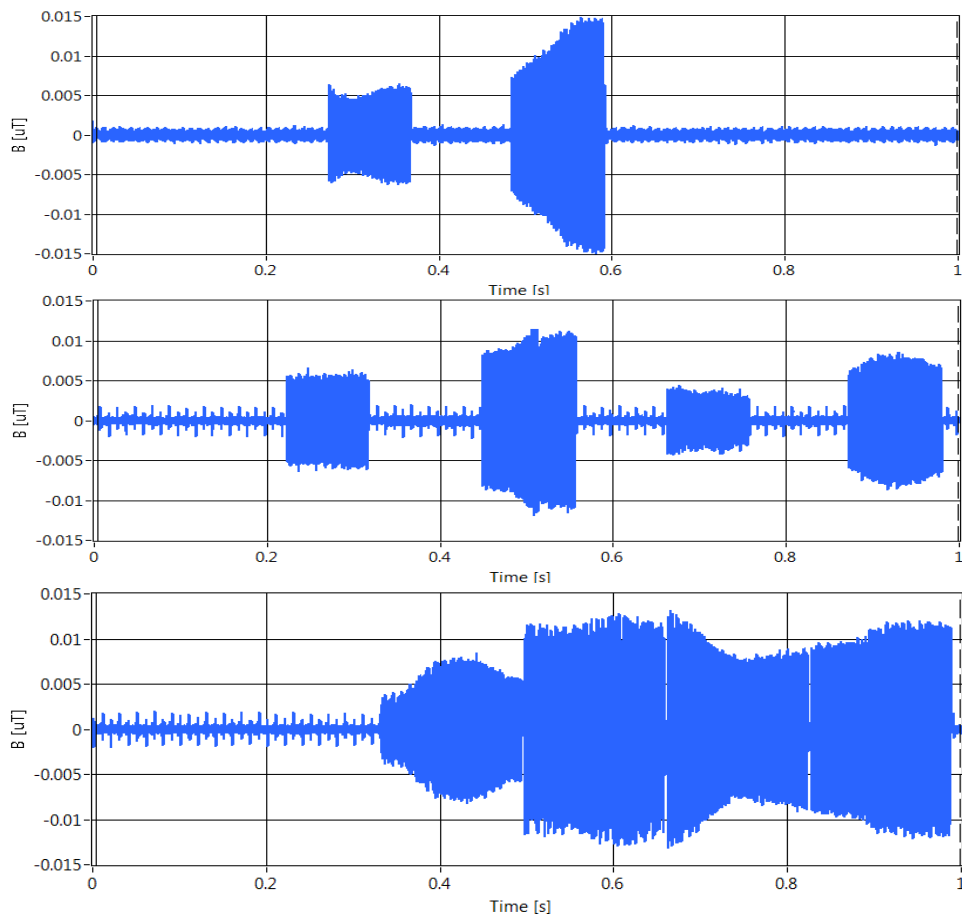


**Abbildung 3.1:** Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte (Einzelsignale der 3 orthogonalen Spulensensoren der Feldsonde ESM100) in der Nähe der Elektroinstallation. **a:** Messsignal in Originalbandbreite (5 Hz – 400 kHz), **b:** nach Filterung mit 10 kHz Hochpass; **c:** Zoom in Signal b; **d:** Zoom in Signal c. Das dargestellte Zeitintervall im jeweils unteren Teilbild wird durch die vertikalen Cursor-Marker im jeweils darüber liegenden Teilbild angezeigt.



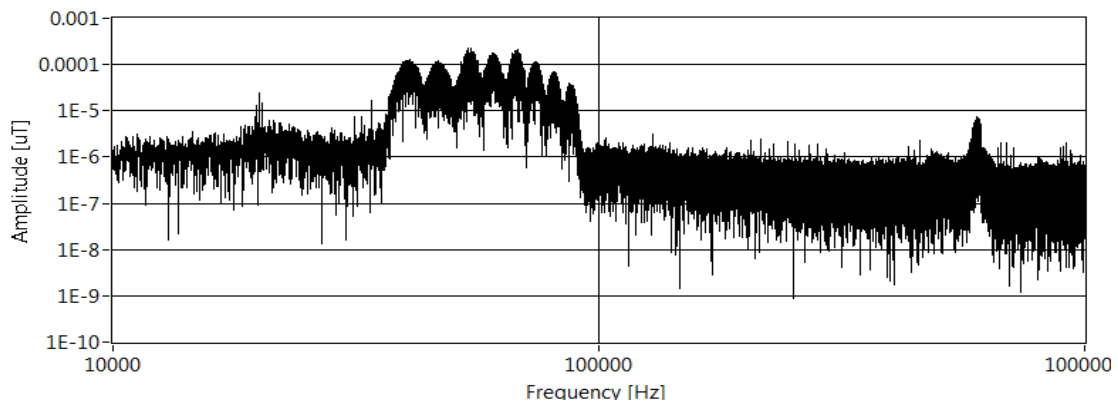
**Abbildung 3.2:** Betrags-Frequenzspektrum des Signalverlaufs a aus Abbildung 3.1 (Messfrequenzbereich der Magnetfeldsonde 5 Hz – 400 kHz)

Da die Immissionen im CENELEC A Frequenzband von Smart Metern im Routinebetrieb verursacht wurden, waren Paketabfolge und Paketlänge, je nach momentanem Datenverkehr sehr unterschiedlich. Abbildung 3.3 zeigt drei Beispiele von jeweils 1 Sekunde langen Aufzeichnungen der magnetischen Immissionen im CENELEC A Band an einem Messpunkt. (gemessen mit Active Loop Antenne, Frequenzbereich 9 kHz- 30 MHz). Je nach momentanem Datenverkehr treten unterschiedliche Signalsequenzen auf.



**Abbildung 3.3:** Drei Beispiele von jeweils 1 Sekunde langen Aufzeichnungen der magnetischen Immissionen (Active Loop Antenne, Frequenzbereich 9 kHz- 30 MHz) im CENELEC A Band an einem Messpunkt. Je nach momentanem Datenverkehr treten unterschiedliche Signalsequenzen auf.

Erkennbar sind in den Abbildungen auch unterschiedliche Amplituden, insbesondere Schwankungen der Amplituden während einzelner Pakete. Letzteres ist wahrscheinlich auf dynamisch veränderliche Netzimpedanzen zurückzuführen. Unterschiede in den Immissionsamplituden zwischen einzelnen Paketen können auch darauf zurückzuführen sein, dass die einzelnen Pakete nicht von ein und demselben Smart Meter gesendet wurden. Kleinere Immissionsamplituden könnten demnach von einem fernerem (z.B. vom Nachbarhaus), größere Immissionsamplituden von einem näheren Smart Meter (im untersuchten Einfamilienhaus)<sup>2</sup> verursacht werden.

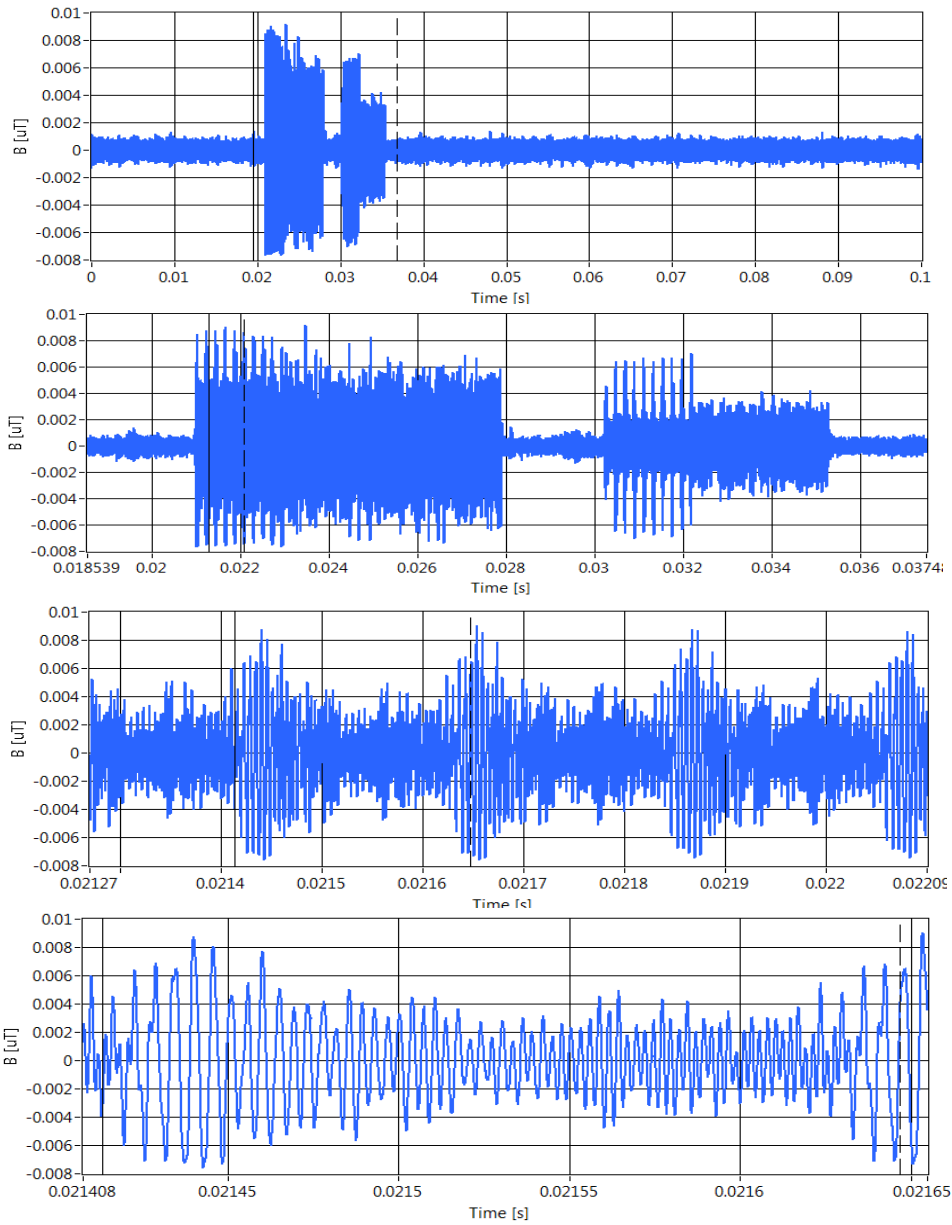


**Abbildung 3.4:** Typisches Betrags-Frequenzspektrum der Immissionen verursacht durch die Smart Meter im CENELAC A Band (wie z.B. in Abbildung 3.3 gezeigt)

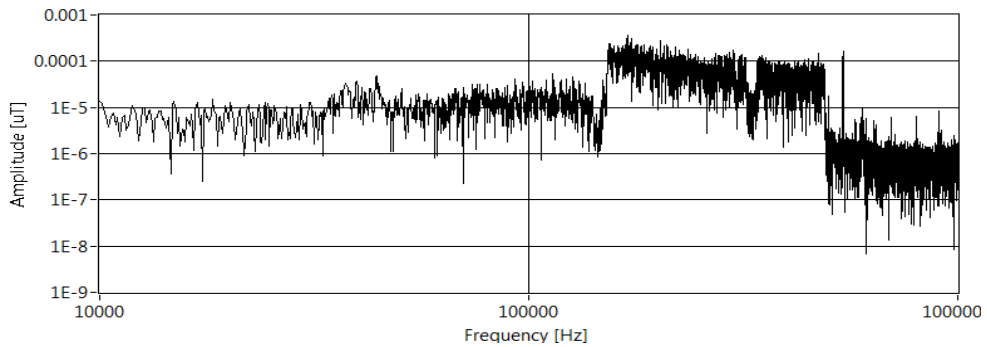
Das zusätzlich provisorisch installierte Smart Meter im FCC Band wurde derart konfiguriert, dass es periodisch Dummy-Information zum (ebenfalls provisorisch im Bereich des Zählerkastens installierten) Datenkonzentrator überträgt. Die zeitliche Abfolge der gesendeten Pakete und damit jene der Immissionen war dadurch vorgegeben.

Aufgrund des parallelen und voneinander unabhängigen Betriebs der CENELEC A Smart Meter und des FCC Smart Meters, traten die von beiden Smart Meter Typen verursachten Immissionen teilweise zeitgleich auf (Abbildung 3.7).

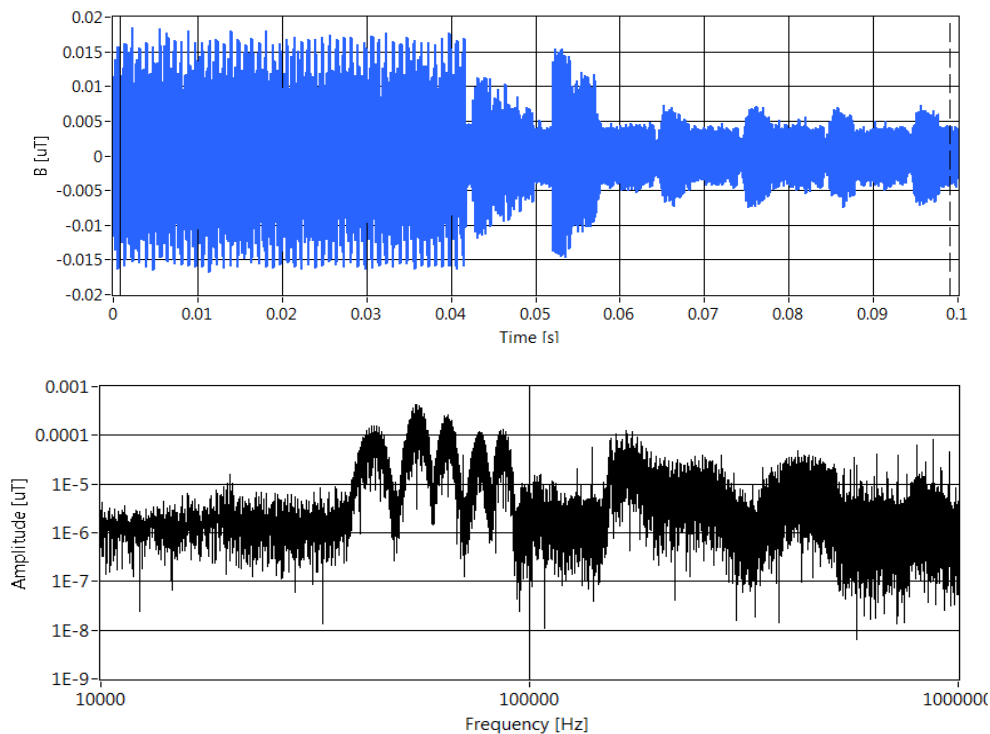
<sup>2</sup> Die Tatsache, dass im untersuchten Einfamilienhaus auch magnetische Immissionen messbar sind, die ursächlich auf ein weiter entferntes Smart Meter (z.B. im Nachbarhaus) zurückzuführen sind, liegt darin begründet, dass sich die vom weiter entfernten Smart Meter auf die Leitungen abgesetzten Signale über das Verteilnetz ausbreiten und damit auch zu entsprechenden Strömen und Spannungen in der Hausinstallation des untersuchten Einfamilienhauses führen können, die wiederum zu messbaren Immissionen im untersuchten Einfamilienhaus führen.



**Abbildung 3.5:** Typischer Zeitverlauf der magnetischen Flussdichte im FCC Frequenzband in der Nähe der Elektroinstallation in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung. Das dargestellte Zeitintervall im jeweils unteren Teilbild wird durch die vertikalen Cursor-Marker im jeweils darüber liegenden Teilbild angezeigt.



**Abbildung 3.6:** Typisches Betrags-Frequenzspektrum der Immissionen verursacht durch das Smart Meter im FCC Band (wie in Abbildung 3.5 gezeigt)



**Abbildung 3.7:** Zeitverlauf (oben) und Betrags-Frequenzspektrum (unten) der Immissionen bei gleichzeitigem Auftreten von Immissionen im CENELEC A Band und im FCC Band

## 3.2 Bewertung der Immissionen gemäß OVE R 23-1

### 3.2.1 Immissionen im CENELEC A Band

Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 fassen die Ergebnisse in Form der Expositionsquotienten  $EQ_B$  für die magnetische Flussdichte und  $EQ_E$  für die elektrische Feldstärke, für die von den Smart Metern im CENELEC A Band verursachten Immissionen in den untersuchten Messpunkten zusammen. Zusätzlich in der äußerst rechten Spalte angegeben ist der gemessene Spitzenwert von B bzw. E im CENELEC A Übertragungsfrequenzband.

Im CENELEC A Band (Übertragung bis max. 95 kHz) sind ausschließlich nicht-thermische Wirkungen relevant.

Es ist zu beachten, dass in allen untersuchten Wohnbereichen die Gesamtmissionen während der Messungen als sehr gering einzustufen sind.

In typischen Aufenthaltsbereichen (> 20 cm Distanz zu Wänden bzw. Komponenten der Elektroinstallation) liegen die den Smart Metern zuordenbaren  $EQ_B$  deutlich unterhalb von 0,1%. Der Anteil der von den Smart Metern verursachten Immissionen erreichte in diesen Punkten nicht mehr als ca. 10-30% der vorherrschenden nicht-thermisch wirksamen (als sehr gering einzustufenden) Gesamtmissionen. In unmittelbarer Nähe zum Smart Meter erreichte der vom Smart Meter verursachte  $EQ_B$  die Größenordnung von ca. 1% und einen Anteil von etwa 50% der in diesen Punkten vorherrschenden nicht-thermisch wirksamen Gesamtmissionen.

Die den Smart Metern zuordenbaren  $EQ_E$  liegen in typischen Aufenthaltsbereichen unterhalb von 0,5% was einem Anteil von bis zu ca. 50% an den vorherrschenden nicht-thermisch wirksamen elektrischen Gesamtmissionen entspricht. In der Nähe des Smart Meters bzw.

in der Nähe von an die Hausinstallation angeschlossenen Elektrogeräten wurden im CENELEC A Übertragungsfrequenzbereich  $EQ_E$  Werte von bis zu 0,9% festgestellt.

| Messpunkt   | Expositionsquotient $EQ_{B, \text{ nicht-thermisch}}$<br>Magnetische Flussdichte |                                 | $B_{\text{peak}}$ [nT]          |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
|   | Gesamt<br>5 Hz – 10 MHz  | Smart Meter<br>10 kHz – 100 kHz | Smart Meter<br>10 kHz – 100 kHz |
| <b>Einfamilien-Reihenhaus</b>   |  |                                 |                                 |
| <b>E1</b> Unmittelbar (ca. 5 cm) vor Smart Meter (Zählerkastentür offen)  | 2,21% / --   | 1,02% / --                      | 270                             |
| <b>E2</b> Küche, an der Wand (d=10 cm) direkt hinter ZK   | 0,24% / 0,38%  | 0,14% / 0,08%                   | 29 / 17                         |
| <b>E3</b> Wohnzimmer am Sofa, ca. 1 m von nächstgelegener Wand mit Elektroinstallation  | 0,16% / 0,20%  | 0,03% / 0,01%                   | 8,9 / 3,9                       |
| <b>E4</b> Wohnzimmer vor Klavier, ca. 1,5 m von nächstgelegener Wand mit E-Installation   | 0,15% / 0,19%  | 0,02% / < 0,01%                 | 6,4 / 2,8                       |
| <b>E5</b> Terrasse  | < 0,1% / < 0,1%  | < 0,01% / < 0,01%               | 1,8 / 1,6                       |
| <b>E6a</b> Schlafzimmer, auf Bett, 25 cm Distanz zu Radiowecker (RW)  | 0,13% / 0,25%  | 0,04% / 0,02%                   | 9,5 / 6,1                       |
| <b>E6b</b> Schlafzimmer, auf Bett, 95 cm Distanz zu Radiowecker   | 0,11% / --   | 0,03% / --                      | 8,7 / --                        |
| <b>E6c</b> Schlafzimmer, auf Bett, 2 m Distanz zu Radiowecker (=50 cm zu TV-Set)  | 0,14% / 0,22%  | 0,05% / 0,02%                   | 14 / 6,4                        |
| <b>Mehrparteien Wohnhausanlage</b>  |  |                                 |                                 |
| <b>M1</b> Stiegenhaus zwischen EG und 1 OG.   | 0,40%  | 0,04%                           | 15                              |
| <b>M2</b> 1.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,45%  | 0,02%                           | 7,3                             |
| <b>M3</b> 1.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 0,20%  | 0,01%                           | 4,1                             |
| <b>M4</b> 2.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,53%  | 0,07%                           | 28                              |
| <b>M5</b> 2.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 0,23%  | 0,02%                           | 5,9                             |
| <b>M6</b> Dachgeschoß, vor E-Verteiler  | 0,30%  | 0,02%                           | 6,5                             |
| <b>M7</b> Dachgeschoß, Nebenraum  | 0,18%  | < 0,01%                         | 2,4                             |
| In Tabellenfeldern mit durch „ / “ getrennten Werten bezeichnet der erste Wert das Ergebnis der Messungen im Sommer 2017 und der zweite Wert das Ergebnis der Messung im Frühjahr 2018. |  |                                 |                                 |

**Tabelle 3.1:** Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse im Hinblick auf die von den Smart Metern im CENELEC A Band verursachten magnetischen Immissionen

Die Tatsache, dass sich die Größenordnungen der resultierenden Expositionsquotienten im Einfamilienhaus (ein installiertes Smart Meter im Zählerkasten) und in der Mehrparteien Wohnhausanlage (insgesamt 10 installierte Smart Meter im Zählerraum) nicht wesentlich unterscheiden macht deutlich, dass der resultierende Expositionsquotient nicht von der Anzahl der in einem Objekt installierten Smart Meter abhängt. Dies ist aus physikalischer Sicht auch aus folgenden Gründen zu erwarten, da das Übertragungsprotokoll der Smart Meter für den Zugriff auf das Übertragungsmedium ein CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) Verfahren vorsieht. Dies bedeutet, dass jedes Smart Meter



nur dann ein Datenpaket absetzen darf, wenn es sich vorher vergewissert hat, dass der Übertragungskanal frei ist, d.h., nicht gerade von einem anderen Smart Meter genutzt wird. Damit wird vermieden, dass sich einzelne, von unterschiedlichen Smart Metern stammende Datenpakete zeitlich überlagern, was der Kommunikation abträglich wäre. D.h. es können sich daher auch die von einzelnen Smart Metern verursachten elektrischen und magnetischen Immissionen nicht überlagern (addieren). Da im Frequenzbereich unterhalb von 100 kHz bei der Berechnung des Expositionsindex keinerlei zeitliche Mittelung der Immissionen erlaubt ist, führt auch das bei Vorhandensein mehrerer Smart Meter zu erwartende häufigere Auftreten von Datenpaketen zu keiner Erhöhung des resultierenden Expositionsindex.

| Messpunkt   | Expositionsquotient EQSE, nicht-thermisch<br>Elektrische Feldstärke |                                 | E <sub>peak</sub> [V/m]         |
|---|---|---------------------------------|---------------------------------|
|   | Gesamt<br>5 Hz – 10 MHz   | Smart Meter<br>10 kHz – 100 kHz | Smart Meter<br>10 kHz – 100 kHz |
| <b>Einfamilien-Reihenhaus</b>   |   |                                 |                                 |
| <b>E1</b> Unmittelbar (ca. 5 cm) vor Smart Meter (Zählerkastentür offen)  | 6,5% / -  | 0,9% / --                       | 2,5 / --                        |
| <b>E2</b> Küche, an der Wand (d=10 cm) direkt hinter ZK   | 1,10% / 1,25%   | 0,10% / 0,17%                   | 0,2 / 0,4                       |
| <b>E3</b> Wohnzimmer am Sofa, ca. 1 m von nächstgelegener Wand mit Elektroinstallation  | 1,48% / 1,44%   | 0,13% / 0,21%                   | 0,3 / 0,4                       |
| <b>E4</b> Wohnzimmer vor Klavier, ca. 1,5 m von nächstgelegener Wand mit E-Installation   | 1,58% / 1,70%   | 0,26% / 0,31%                   | 0,4 / 0,5                       |
| <b>E5</b> Terrasse  | 0,4% / 0,30%  | 0,17% / 0,14%                   | 0,4 / 0,3                       |
| <b>E6a</b> Schlafzimmer, auf Bett, 25 cm Distanz zu Radiowecker (RW)  | 1,03% / 1,2%  | 0,08% / 0,13%                   | 0,2 / 0,3                       |
| <b>E6b</b> Schlafzimmer, auf Bett, 95 cm Distanz zu Radiowecker   | 0,97% / --  | 0,05% / --                      | 0,1 / --                        |
| <b>E6c</b> Schlafzimmer, auf Bett, 2 m Distanz zu Radiowecker (=50 cm zu TV-Set)  | 0,83% / 0,66%   | 0,15% / 0,19%                   | 0,3 / 0,4                       |
| <b>Mehrparteien Wohnhausanlage</b>  |   |                                 |                                 |
| <b>M1</b> Stiegenhaus zwischen EG und 1 OG.   | 0,60%   | 0,15%                           | 0,3                             |
| <b>M2</b> 1.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,80%   | 0,17%                           | 0,3                             |
| <b>M3</b> 1.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 1,50%   | 0,37%                           | 0,5                             |
| <b>M4</b> 2.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,90%   | 0,35%                           | 0,5                             |
| <b>M5</b> 2.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 1,20%   | 0,44%                           | 0,7                             |
| <b>M6</b> Dachgeschoß, vor E-Verteiler  | 1,30%   | 0,23%                           | 0,4                             |
| <b>M7</b> Dachgeschoß, Nebenraum  | 0,50%   | 0,28%                           | 0,5                             |
| In Tabellenfeldern mit durch „/“ getrennten Werten bezeichnet der erste Wert das Ergebnis der Messungen im Sommer 2017 und der zweite Wert das Ergebnis der Messung im Frühjahr 2018. |   |                                 |                                 |

**Tabelle 3.2:** Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse im Hinblick auf die von den Smart Metern im CENELEC A Band verursachten elektrischen Immissionen

### 3.2.2 Immissionen im FCC Band

Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 fassen die Ergebnisse in Form der Expositionsquotienten  $EQ_B$  für die magnetische Flussdichte und  $EQ_E$  für die elektrische Feldstärke, für die vom Smart Meter im FCC Band verursachten Immissionen in den untersuchten Messpunkten zusammen. Zusätzlich ist in der äußerst rechten Spalte wieder der gemessene Spitzenwert von B bzw. E im FCC Übertragungsfrequenzband angegeben.

| Messpunkt   | Expositionsquotienten $EQ_{S_B}$ , $EQ_{T_B}$<br>Magnetische Flussdichte |                                 |                                 | $B_{peak}$ [nT]                 |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|   | $EQ_{S_B}$ , nicht-thermisch   |                                 | $EQ_{T_B}$ , thermisch          |                                 |
|   | Gesamt<br>5 Hz – 10 MHz  | Smart Meter<br>150kHz – 500 kHz | Smart Meter<br>150kHz – 500 kHz | Smart Meter<br>150kHz – 500 kHz |
| <b>Einfamilien-Reihenhaus</b>   |  |                                 |                                 |                                 |
| <b>E1</b> Unmittelbar (ca. 5 cm) vor Smart Meter (Zählerkastentür offen)  | --   | --                              | --                              | --                              |
| <b>E2</b> Küche, an der Wand (d=10 cm) direkt hinter ZK   | 0,38%  | <b>0,04%</b>                    | <b>0,000529%</b>                | <b>15</b>                       |
| <b>E3</b> Wohnzimmer am Sofa, ca. 1 m von nächstgelegener Wand mit Elektroinstallation  | 0,20%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000009%</b>                | <b>2,1</b>                      |
| <b>E4</b> Wohnzimmer vor Klavier, ca. 1,5 m von nächstgelegener Wand mit E-Installation   | 0,19%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000004%</b>                | <b>1,0</b>                      |
| <b>E5</b> Terrasse  | < 0,1%   | < <b>0,01%</b>                  | < <b>0,000001%</b>              | <b>0,3</b>                      |
| <b>E6a</b> Schlafzimmer, auf Bett, 25 cm Distanz zu Radiowecker (RW)  | 0,25%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000009%</b>                | <b>2,4</b>                      |
| <b>E6b</b> Schlafzimmer, auf Bett, 95 cm Distanz zu Radiowecker   | --   | --                              | --                              | --                              |
| <b>E6c</b> Schlafzimmer, auf Bett, 2 m Distanz zu Radiowecker (=50 cm zu TV-Set)  | 0,22%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000009%</b>                | <b>2,5</b>                      |
| <b>Mehrparteien Wohnhausanlage</b>  |  |                                 |                                 |                                 |
| <b>M1</b> Stiegenhaus zwischen EG und 1 OG.   | 0,40%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000025%</b>                | <b>3,6</b>                      |
| <b>M2</b> 1.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,45%  | <b>0,02%</b>                    | <b>0,000081%</b>                | <b>6,5</b>                      |
| <b>M3</b> 1.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 0,20%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000016%</b>                | <b>2,9</b>                      |
| <b>M4</b> 2.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,53%  | <b>0,02%</b>                    | <b>0,000144%</b>                | <b>7,6</b>                      |
| <b>M5</b> 2.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 0,23%  | <b>0,01%</b>                    | <b>0,000004%</b>                | <b>4,1</b>                      |
| <b>M6</b> Dachgeschoß, vor E-Verteiler  | 0,30%  | <b>0,01%</b>                    | <b>0,000025%</b>                | <b>4,4</b>                      |
| <b>M7</b> Dachgeschoß, Nebenraum  | 0,18%  | < <b>0,01%</b>                  | <b>0,000004%</b>                | <b>1,0</b>                      |
| In Tabellenfeldern mit durch „/“ getrennten Werten bezeichnet der erste Wert das Ergebnis der Messungen im Sommer 2017 und der zweite Wert das Ergebnis der Messung im Frühjahr 2018. |  |                                 |                                 |                                 |

**Tabelle 3.3:** Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse im Hinblick auf die von den Smart Metern im FCC Band verursachten magnetischen Immissionen.

Im FCC Band (Übertragung zwischen 150 kHz und 500 kHz) sind sowohl nicht-thermische als auch thermische Wirkungen zu bewerten. Es werden daher in Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 jeweils getrennt EQ Werte für beide Wirkungen angegeben. Während die relevanten nicht-thermisch wirksamen Gesamtmissionen (Frequenzbereich bis 10 MHz) im Zuge der Messungen mit erfasst wurden, erfolgte aus Aufwandsgründen keine gezielte Messung aller relevanten thermisch wirksamen Immissionen.

Im Unterschied zu den nicht-thermisch wirksamen Hintergrundimmissionen in der häuslichen Umgebung, die typischerweise hauptsächlich durch die Hausinstallation und daran angeschlossene Verbraucher bestimmt sind und in einem relativ eng eingegrenzten Bereich (Expositionsquotienten im Bereich von 0,01% bis einige wenige %) liegt, sind die thermisch wirksamen Hintergrundimmissionen in typischen häuslichen Umgebungen üblicherweise durch die weit verbreiteten modernen Funktechnologien dominiert (Rundfunk, Mobilfunk, WLAN, etc.). Die Größenordnungen dieser thermisch wirksamen Gesamtimmissionen streuen über mehrere Zehnerpotenzen und können aus einer Vielzahl öffentlich zugänglicher Messberichte (z.B. [2]) im Bereich von ca. 0,00001% bis 0,5% des Referenzwertes für die Leistungsflussdichte abgeschätzt werden. Die Gültigkeit dieses Wertebereiches für die konkret untersuchten Messpunkte wurde auch durch begleitende frequenzselektive Messungen (an einigen ausgewählten Punkten) im Frequenzbereich bis 3 GHz, durchgeführt von Dr. Andreas Abart (Netz Oberösterreich GmbH), bestätigt. Vergleiche der durch das FCC Smart Meter verursachten thermisch wirksamen Immissionen mit den typischerweise in häuslicher Umgebung zu erwartenden Hintergrundimmissionen zeigt Abbildung 3.14.

| Messpunkt   | Expositionsquotienten EQS <sub>E</sub> , EQT <sub>E</sub> ,<br>Elektrische Feldstärke |                                 |                                 | E <sub>peak</sub> [V/m]         |
|---|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|   | EQS <sub>E</sub> , nicht-thermisch  |                                 | EQT <sub>E</sub> , thermisch    |                                 |
|   | Gesamt<br>5 Hz – 10 MHz   | Smart Meter<br>150kHz – 500 kHz | Smart Meter<br>150kHz – 500 kHz | Smart Meter<br>150kHz – 500 kHz |
| <b>Einfamilien-Reihenhaus</b>   |   |                                 |                                 |                                 |
| <b>E1</b> Unmittelbar (ca. 5 cm) vor Smart Meter (Zählerkastentür offen)  | --  | --                              | --                              | --                              |
| <b>E2</b> Küche, an der Wand (d=10 cm) direkt hinter ZK   | 1,25%   | <b>0,17%</b>                    | <b>0,000256%</b>                | <b>0,4</b>                      |
| <b>E3</b> Wohnzimmer am Sofa, ca. 1 m von nächstgelegener Wand mit Elektroinstallation  | 1,44%   | <b>0,14%</b>                    | <b>0,000144%</b>                | <b>0,3</b>                      |
| <b>E4</b> Wohnzimmer vor Klavier, ca. 1,5 m von nächstgelegener Wand mit E-Installation   | 1,70%   | <b>0,14%</b>                    | <b>0,000144%</b>                | <b>0,3</b>                      |
| <b>E5</b> Terrasse  | 0,30%   | <b>0,15%</b>                    | <b>0,000196%</b>                | <b>0,3</b>                      |
| <b>E6a</b> Schlafzimmer, auf Bett, 25 cm Distanz zu Radiowecker (RW)  | 1,2%  | <b>0,19%</b>                    | <b>0,000121%</b>                | <b>0,4</b>                      |
| <b>E6b</b> Schlafzimmer, auf Bett, 95 cm Distanz zu Radiowecker   | --  | --                              | --                              | -                               |
| <b>E6c</b> Schlafzimmer, auf Bett, 2 m Distanz zu Radiowecker (=50 cm zu TV-Set)  | 0,66%   | <b>0,14%</b>                    | <b>0,000121%</b>                | <b>0,3</b>                      |
| <b>Mehrparteien Wohnhausanlage</b>  |   |                                 |                                 |                                 |
| <b>M1</b> Stiegenhaus zwischen EG und 1 OG.   | 0,60%   | <b>0,17%</b>                    | <b>0,000225%</b>                | <b>0,4</b>                      |
| <b>M2</b> 1.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,80%   | <b>0,27%</b>                    | <b>0,000484%</b>                | <b>0,4</b>                      |
| <b>M3</b> 1.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 1,50%   | <b>0,22%</b>                    | <b>0,000361%</b>                | <b>0,5</b>                      |
| <b>M4</b> 2.OG Flur, vor E-Verteiler  | 0,90%   | <b>0,21%</b>                    | <b>0,000361%</b>                | <b>0,6</b>                      |
| <b>M5</b> 2.OG Wohnzimmer, vor Fernseher  | 1,20%   | <b>0,22%</b>                    | <b>0,000361%</b>                | <b>0,5</b>                      |
| <b>M6</b> Dachgeschoß, vor E-Verteiler  | 1,30%   | <b>0,19%</b>                    | <b>0,000289%</b>                | <b>0,4</b>                      |
| <b>M7</b> Dachgeschoß, Nebenraum  | 0,50%   | <b>0,18%</b>                    | <b>0,000225%</b>                | <b>0,4</b>                      |
| In Tabellenfeldern mit durch „/“ getrennten Werten bezeichnet der erste Wert das Ergebnis der Messungen im Sommer 2017 und der zweite Wert das Ergebnis der Messung im Frühjahr 2018. |   |                                 |                                 |                                 |

**Tabelle 3.4:** Zusammenfassung der Mess- und Bewertungsergebnisse im Hinblick auf die von den Smart Metern im FCC Band verursachten elektrischen Immissionen.

Die dem FCC Band Smart Meter zuordenbaren nicht-thermisch wirksamen Immissionen liegen in typischen Aufenthaltsbereichen bei nicht mehr als 0,02% ( $EQS_B$ ) bzw. im Bereich von ca. 0,1-0,3% ( $EQS_E$ ). In der Nähe von an die Hausinstallation angeschlossenen Elektrogeräten wurden  $EQS_B$  Werte von bis zu 0,4% festgestellt.

Die dem FCC Band Smart Meter zuordenbaren thermisch wirksamen Immissionen sind sehr gering und liegen in typischen Aufenthaltsbereichen bei nicht mehr als ca. 0,0001% ( $EQT_B$ ) bzw. im Bereich von ca. 0,0001-0,0003% ( $EQT_E$ ). In der Nähe von an die Hausinstallation angeschlossenen Elektrogeräten wurden  $EQT_B$  Werte von bis zu 0,0005% festgestellt.

### 3.2.3 Gesamtschau der der erhobenen Immissionsdaten

Abbildung 3.8 und Abbildung 3.11 fassen die Ergebnisse bezüglich der nicht-thermisch wirksamen Immissionen im CENELEC A Band und FCC Band für die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke (Abbildung 3.10 und Abbildung 3.11) zusammen.

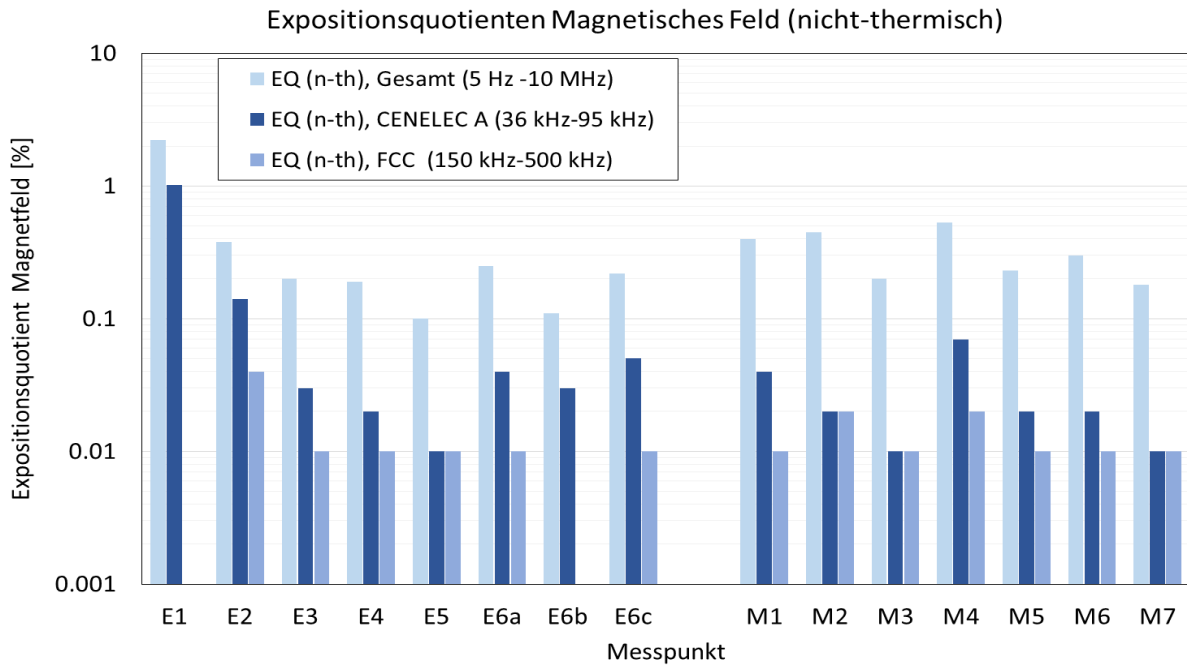
Abbildung 3.8 und Abbildung 3.9 zeigen zunächst die Ergebnisse für die magnetische Flussdichte, wobei Abbildung 3.8 die Gesamtimmission während aktiver Smart Meter Übertragung im Vergleich zu den Immissionsanteilen im CENELEC A und im FCC Band darstellt (mit logarithmischer Ordinatenkalierung), und Abbildung 3.9 diese Immissionsanteile der Hintergrundimmission ohne aktive Smart Meter Übertragung gegenüberstellt (mit linearer Ordinatenkalierung).

Abbildung 3.10 und Abbildung 3.11 zeigen in gleicher Weise die Ergebnisse für die elektrische Feldstärke.

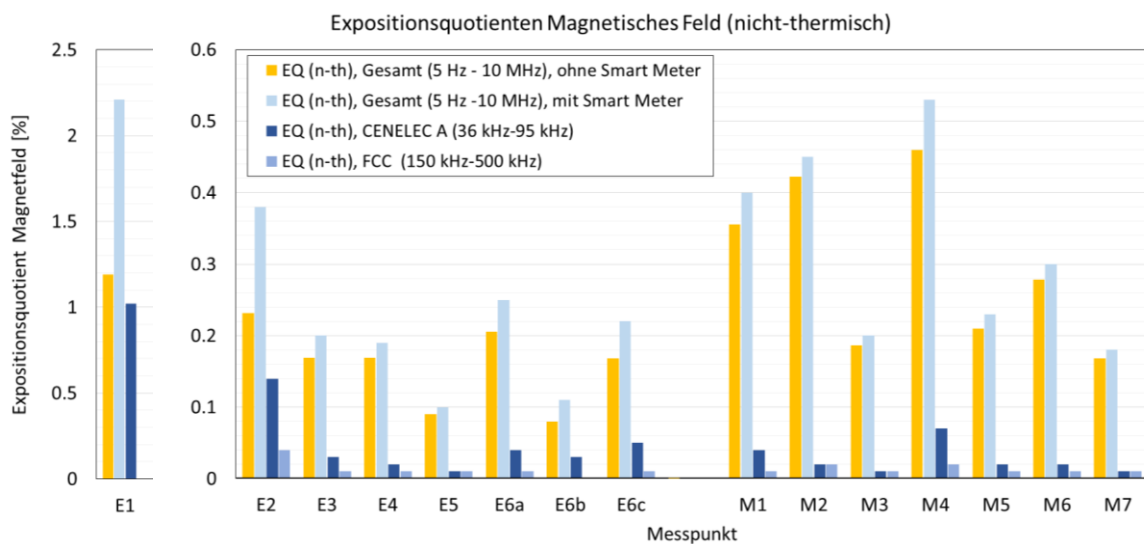
Die magnetischen Immissionen zeigen sich dabei im Verhältnis zu den Referenzwerten im Durchschnitt etwas geringer als die elektrischen Immissionen ( $EQS_B < EQS_E$ ).

Während die magnetischen Immissionen ( $EQS_B$ ) eine deutliche Abhängigkeit vom Messpunkt (Messort) aufweisen, zeigen sich die elektrischen Immissionen deutlich weniger ortsabhängig. Dies gilt zumindest für die magnetischen Immissionen im CENELEC A Band. Bei den magnetischen Immissionen im FCC Band zeigt sich keine ausgeprägte Ortsabhängigkeit in den bewerteten Messdaten, was wahrscheinlich jedoch an den sehr geringen Immissionswerten nahe bzw. teilweise unterhalb der Nachweisgrenze (0,01% für  $EQS_B$ ) der verwendeten Messgeräte liegt.

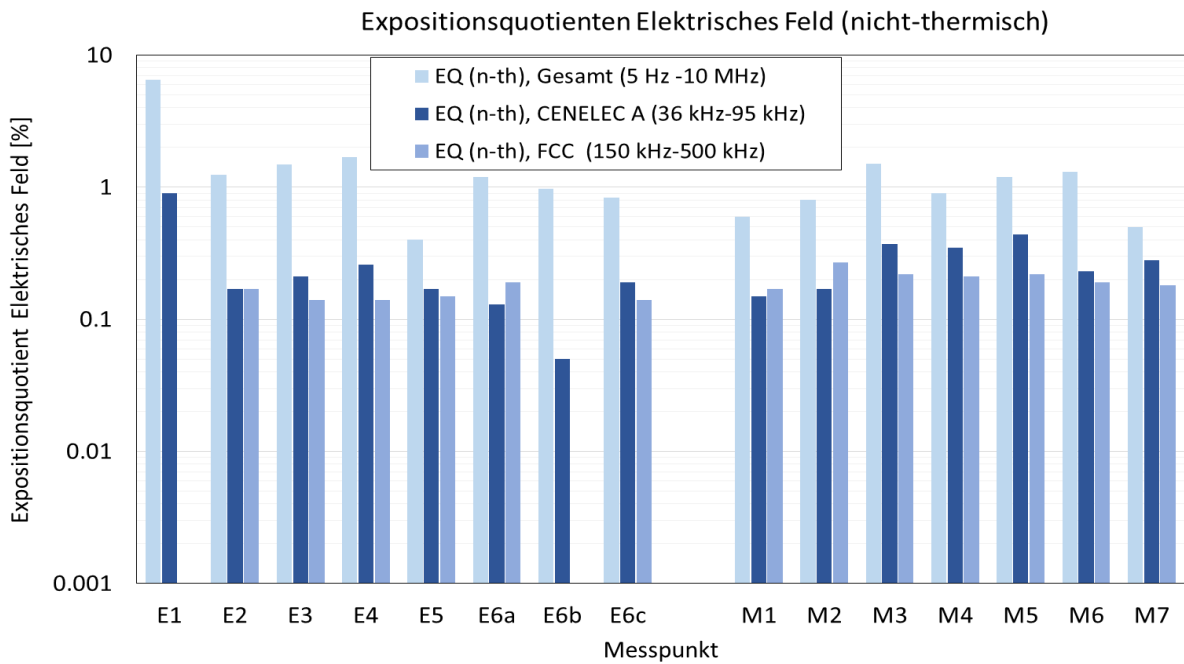
Abbildung 3.12 und Abbildung 3.13 zeigen den gemäß OVE R 23-1 zu bildenden Gesamtexpositionsquotienten GEQS für die gemeinsame Wirkung des elektrischen und magnetischen Feldes für die untersuchten Messpunkte, wobei Abbildung 3.12 wieder die Gesamtimmission während aktiver Smart Meter Übertragung im Vergleich zu den Immissionsanteilen im CENELEC A und im FCC Band darstellt (mit logarithmischer Ordinatenkalierung), und Abbildung 3.13 diese Immissionsanteile der Hintergrundimmission ohne aktive Smart Meter Übertragung gegenüberstellt (mit linearer Ordinatenkalierung).



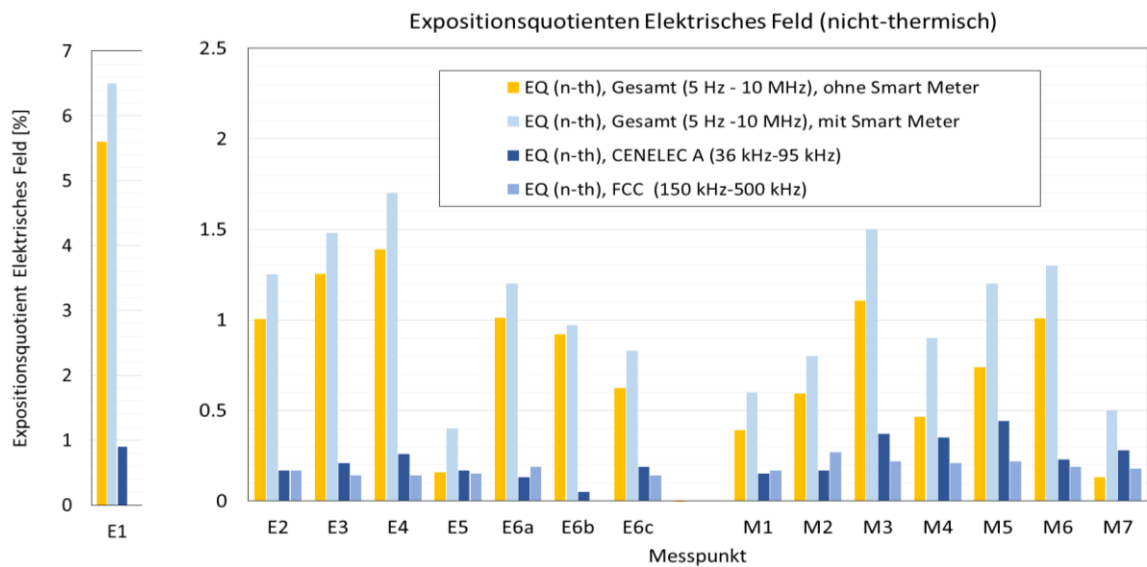
**Abbildung 3.8:** Expositionsquotienten für nicht-thermisch wirksame Immissionen der magnetischen Flussdichte in den untersuchten Messpunkten. An Messpunkten E1 und E6b erfolgten keine Messungen im FCC Band (siehe Kapitel 2.3.1).



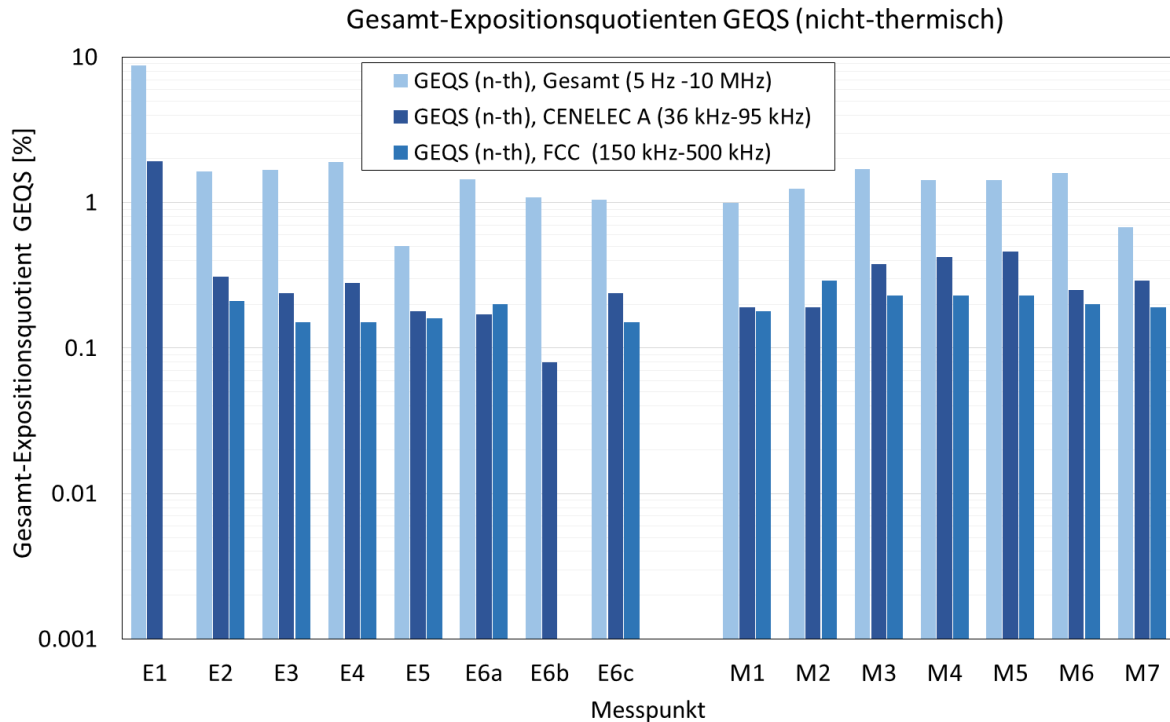
**Abbildung 3.9:** Expositionsquotienten für nicht-thermisch wirksame Immissionen der magnetischen Flussdichte in den untersuchten Messpunkten bei aktivem Smart Meter (blaue Balken) im Vergleich zur Situation ohne aktives Smart Meter (gelbe Balken). An Messpunkten E1 und E6b erfolgten keine Messungen im FCC Band (siehe Kapitel 2.3.1).



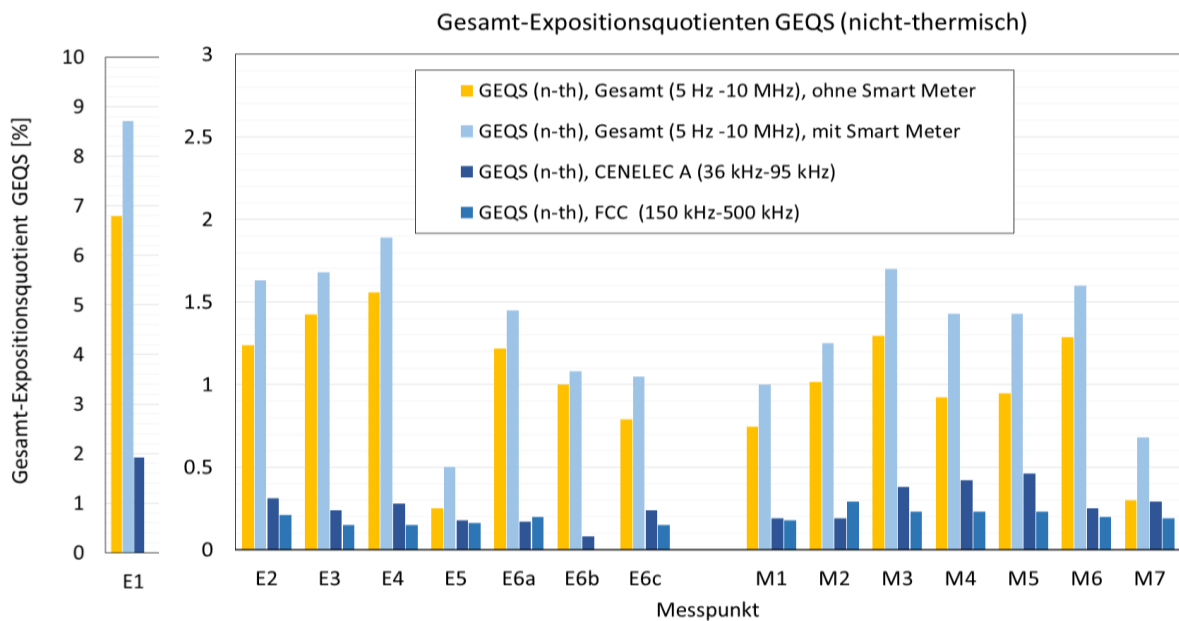
**Abbildung 3.10:** Expositionsquotienten für nicht-thermisch wirksame Immissionen der elektrischen Feldstärke in den untersuchten Messpunkten. An Messpunkten E1 und E6b erfolgten keine Messungen im FCC Band (siehe Kapitel 2.3.1).



**Abbildung 3.11:** Expositionsquotienten für nicht-thermisch wirksame Immissionen der elektrischen Feldstärke in den untersuchten Messpunkten bei aktivem Smart Meter (blaue Balken) im Vergleich zur Situation ohne aktives Smart Meter (gelbe Balken). An Messpunkten E1 und E6b erfolgten keine Messungen im FCC Band (siehe Kapitel 2.3.1).

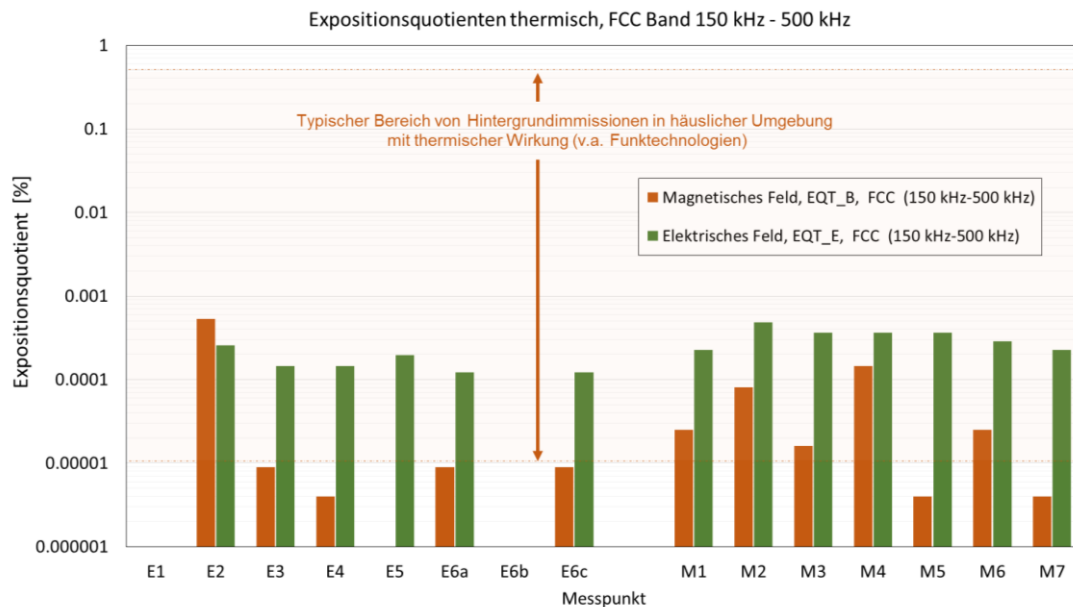


**Abbildung 3.12:** Gesamt-Expositionsquotienten GEQS für nicht-thermisch wirksame Immissionen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte in den untersuchten Messpunkten. An Messpunkten E1 und E6b erfolgten keine Messungen im FCC Band (siehe Kapitel 2.3.1).



**Abbildung 3.13:** Gesamt-Expositionsquotienten GEQS für nicht-thermisch wirksame Immissionen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte in den untersuchten Messpunkten bei aktivem Smart Meter (blaue Balken) im Vergleich zur Situation ohne aktives Smart Meter (gelbe Balken). An Messpunkten E1 und E6b erfolgten keine Messungen im FCC Band (siehe Kapitel 2.3.1).

Abbildung 3.14 fasst schließlich die Ergebnisse bezüglich der thermisch wirksamen Immissionen im FCC Band für die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke zusammen. In üblichen Aufenthaltsbereichen erweisen sich auch hier die bewerteten elektrischen Immissionen als dominant gegenüber der magnetischen ( $EQT_B < EQT_E$ ).



**Abbildung 3.14:** Expositionsquotienten für thermisch wirksame Immissionen im FCC Übertragungsfrequenzband in den untersuchten Messpunkten

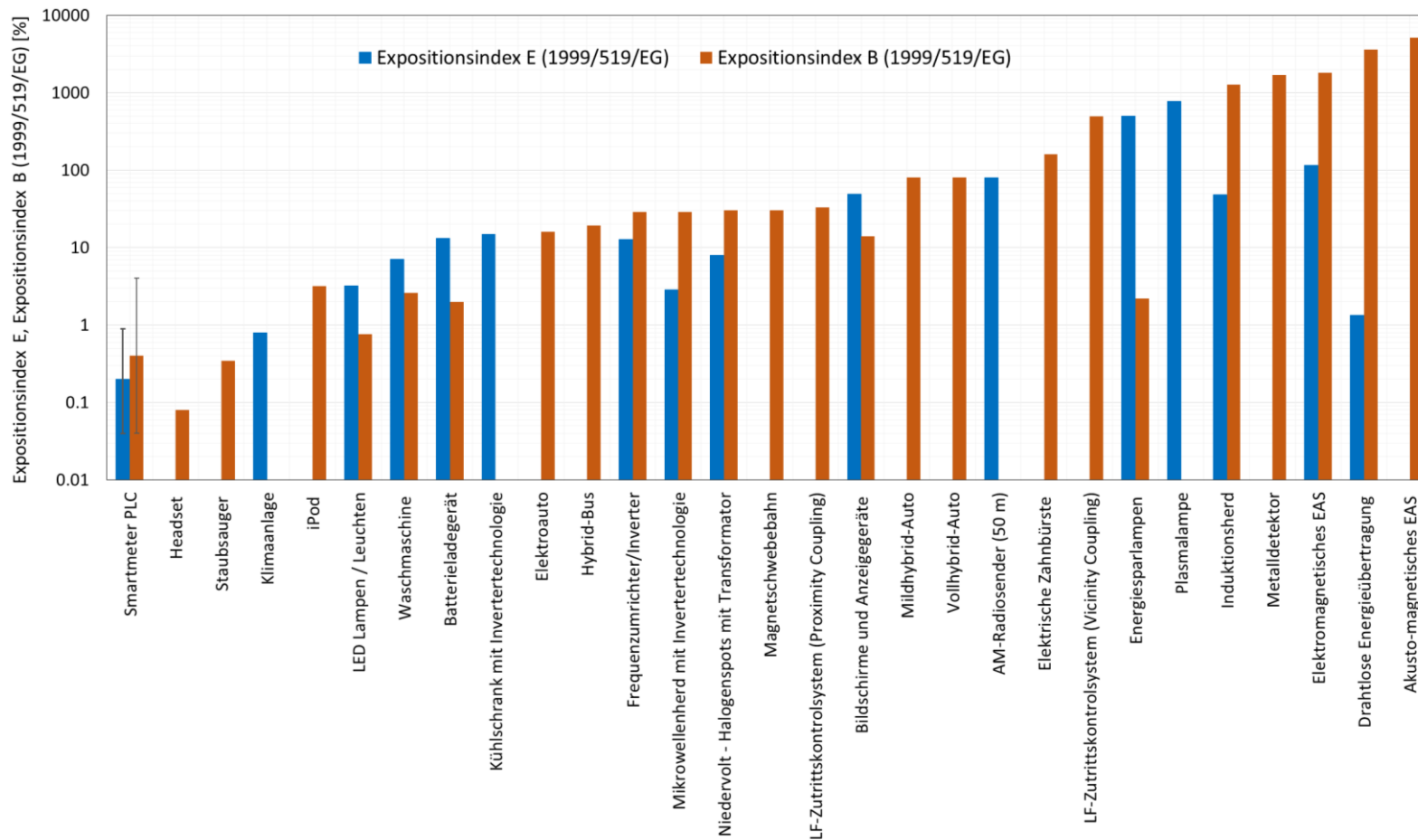
Insgesamt erweisen sich die vom Smart Meter verursachten thermisch wirksamen Immissionen als sehr gering im Vergleich mit den Referenzwerten. Die Exposition liegt im Bereich einer typischen „elektromagnetisch ruhigen“ Lage.

Anzumerken ist dabei, dass die in Tabelle 3.3, Tabelle 3.4 und Abbildung 3.14 dargestellten Smart Meter Immissionen maximalen Effektivwerten während einzelner übertragener Datenpakete (Bursts) entsprechen, und damit noch keiner Mittelung über 6 Minuten unterworfen wurden, wie dies für die Bewertung im Hinblick auf thermische Wirkungen zulässig ist. Eine zuverlässige Angabe der Größenordnung des Verhältnisses von maximalem Effektivwert innerhalb der Dauer eines Datenpaketes zum über ein 6 Minuten Intervall gebildeten Effektivwert, ist gegenwärtig jedoch nicht möglich. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass bei Abfragen großer Datenmengen ein Senden von Smart Metern über mehrere Minuten durchaus möglich ist, sodass das der theoretische Maximalwert dieses Verhältnisses jedenfalls im Bereich 0,1 – 0,9 liegen kann. Im Sinne einer vereinfachten und konservativen Immissions- bzw. Expositionsbewertung, sowie einer vereinfachten Kommunikation von Immissionswerten, erscheint es daher vorteilhaft auf die 6 Minuten Mittelung zu verzichten. Insbesondere würde diese Vorgehensweise die (mitunter schwierige) Diskussion ersparen, inwieweit eine Erhöhung der Anzahl von Smart Metern auch zu einer Erhöhung der Immissionen führt.



### **3.3 Vergleich mit Immissionen verursacht durch andere Technologien**

Schließlich können die von Smart Metern ausgehenden Immissionen auch jenen Immissionen vergleichend gegenübergestellt werden, die durch andere in ähnlichen Frequenzbereichen arbeitende und weit verbreitete Technologien verursacht werden. Abbildung 3.16 zeigt einen derartigen Vergleich. Die Vergleichsdaten stammen dabei aus einem kürzlich abgeschlossenen, im Auftrag des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz durchgeführten systematischen Literatur-Reviews zur Frage der Exposition und Wirkung elektromagnetischer Felder neuartiger Technologien im Frequenzbereich 300 Hz – 1 MHz [3].



**Abbildung 3.15:** Expositionsindizes basierend auf den Referenzwerten gemäß 1999/519/EG für elektrische und magnetische Immissionen im Frequenzbereich 300 Hz – 1 MHz, verursacht durch unterschiedliche, weit verbreitete Technologien bzw. Anwendungen. Dargestellt sind jeweils Maximalwerte in typischen zugänglichen Bereichen beim Einsatz der jeweiligen Technologie. Vergleichsdaten entnommen aus [3].

## 4 LITERATUR

- [1] Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2017. 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. Ausgabe 2017-04-01
- [2] <http://www.fmk.at/site/assets/files/44799/mobilfunk-messreihe-gesamtauswertung.pdf>
- [3] Hirtl R, Bodewein L, Schmidchen K, Dechent D, Stunder D, Gräfrath D, Winter L, Kraus T, Drießen S, Schmid G. 2018. Exposition und Wirkungen der elektromagnetischen Felder neuartiger Technologien im Zwischenfrequenzbereich – systematischer Review. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 3616S82437 im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2018080715819>

## **5 DANKSAGUNG**

Besonderer Dank gilt Herrn DI. Dr. Andreas Abart (Netz Oberösterreich GmbH) für die Organisation bzw. Ermöglichung des Zutritts zu den untersuchten Wohnbereichen und die Unterstützung (inklusive begleitender frequenzselektiver Messungen) vor Ort, sowie Herrn Ing. Günther Gmeindl (Netz Burgenland GmbH) für die Zurverfügungstellung, Installation und Betrieb des FCC-Band Smart Meters im Zeitraum der Messungen.