



Die Messunsicherheit beim Messen der Strahlung von Mobilfunk-Basisstationen (Amtsbericht)

Das Bundesgericht hat in seinem Entscheid 1C_661/2012 vom 5. September 2013 festgehalten, dass es angesichts der technischen Entwicklung auf dem Sektor der Telekommunikation in den letzten zehn Jahren angebracht erscheine, sich zu vergewissern, dass die Messempfehlungen, welche für GSM und UMTS aus den Jahren 2002 resp. 2003 stammen, noch dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Es verlangte daher, dass zu dieser Frage ein Amtsbericht des Eidgenössischen Instituts für Metrologie (METAS) eingeholt werde (E 4.3).

Aufgrund des grundlegenden Interesses an dieser Frage macht das METAS seinen Amtsbericht in allen Amtssprachen allgemein zugänglich.

Frage 1:

Entsprechen die Messempfehlungen des BAFU/METAS für GSM, UMTS und LTE dem Stand der Technik?

Bisher wurden Empfehlungen und technische Berichte für die Messung von Mobilfunk-Basisstationen der Funkdienste GSM (Global System for Mobile Communications, Mobilfunk 2. Generation), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, Mobilfunk 3. Generation) und LTE (Long Term Evolution, Mobilfunk 4. Generation) publiziert. Diese Messempfehlungen und Berichte beschreiben das Vorgehen und die Anforderungen bei sogenannten Abnahmemessungen von Mobilfunk-Basisstationen. Dabei wird überprüft, ob eine Mobilfunksendeanlage an den Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) den Anlagegrenzwert der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) einhält. OMEN sind vorwiegend Innenräume, in denen sich Menschen längere Zeit aufhalten.

Nichtionisierende Strahlung von Mobilfunksendeanlagen, die von aussen in ein Gebäude eintritt, ist in den Innenräumen in der Regel nicht gleichmässig verteilt. Das geht auf verschiedene physikalische Phänomene zurück, wie zum Beispiel die Reflexion der Strahlung, Interferenzen, unterschiedliche Absorption durch Wände und Fenster und die Ausbreitung der Strahlung am OMEN.

Bei der Abnahmemessung einer Mobilfunk-Basisstation gilt der Beurteilungswert nach den Messempfehlungen als diejenige Intensität der nichtionisierenden Strahlung, die man als örtliches Maximum messen würde, wenn die Anlage im massgebenden Betriebszustand betrieben würde. Als massgebender Betriebszustand gilt gemäss Anhang 1 Ziffer 63 NISV der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung. Dadurch soll mit einer Abnahmemessung der örtliche Höchstwert der nichtionisierenden Strahlung an einem OMEN erfasst werden, um auch die am stärksten exponierte Stelle an diesem OMEN in die Beurteilung einzuschliessen. An diesem Grundsatz hat sich seit der Publikation der Messempfehlungen nichts geändert.

Für die direkte experimentelle Bestimmung des räumlichen Höchstwertes der nichtionisierenden Strahlung an einem gegebenen Ort wird mit der sogenannten „Schwenkmethode“ gemessen. Bei dieser Methode wird der OMEN mit einer Messantenne abgetastet, welche je nach Typ gleichzeitig auch um ihre Achsen gedreht werden muss. Dabei wird der Raum nicht nur örtlich, sondern zusätzlich je nach Antennen-Typ noch nach Polarisation und Senderichtung abgetastet. Diese Methode hat sich wegen ihrer guten Praxistauglichkeit sehr gut etabliert. Sie erlaubt rasche und unkomplizierte Messungen von nichtionisierender Strahlung in Innenräumen. Die experimentell bestimmten Messwerte werden zudem nach der NISV auf

die maximale Sendeleistung der Mobilfunkbasisstation extrapoliert. Die Messempfehlungen beschreiben auch die Formeln zur Extrapolation der gemessenen Werte.

Die Entwicklungen der Messgeräte kennzeichnen sich hauptsächlich dadurch, dass sie mit den neuen Mobilfunktechnologien und entsprechenden Modulationen (GSM, UMTS, und LTE) Schritt halten und in der Lage sein müssen, das gewünschte Signal aus einer Vielzahl von Signalen dekodieren zu können.

Die Messempfehlung Mobilfunk-Basisstationen (GSM) (2002, Nr. VU-5800) und der Entwurf der Messempfehlung Mobilfunk-Basisstationen (UMTS – FDD) (2003) entsprechen dem gegenwärtigen Stand der Technik. Für LTE liegen derzeit keine Messempfehlungen vor, sondern ein „Technischer Bericht: Messmethode für LTE-Basisstationen“ (2012); auch für diese Technologie ist derzeit die gleiche Antwort zu geben.

Frage 2:

Ist es möglich, mit modernen Messeinrichtungen und Techniken, die Messunsicherheit (nach Messempfehlung Maximum der erweiterten Messunsicherheit $U \pm 45\%$) für GSM, UMTS und LTE zu verkleinern?

Die Messunsicherheit bei der Messung von Mobilfunkbasisstationen nach den Messempfehlungen BAFU/METAS besteht aus zwei Beiträgen: der Unsicherheit der Messeinrichtung und der Messunsicherheit der Probenahme.

- Die Standardunsicherheit der Messeinrichtung liegt erfahrungsgemäss im Bereich von $\pm 10\%$ bis $\pm 16\%$. Sie umfasst folgende Unsicherheitsquellen: Messantenne/Feldsonde, Verbindungskabel, Linearität und das Messgerät selber. Der grösste Teil der Messunsicherheit kommt von der Messantenne/Feldsonde; die weiteren Beiträge, wie zum Beispiel vom Messgerät selber, sind alle kleiner und haben aus diesem Grund einen sehr geringen Einfluss auf die Gesamtunsicherheit. Jedes Messlabor muss diese Unsicherheit der Messeinrichtung aufgrund der Spezifikationen und Kalibrierdaten der verwendeten Messeinrichtung ermitteln und im Messbericht angeben.
- Die Unsicherheit der Probenahme ist durch die Natur der elektromagnetischen Felder und durch leicht unterschiedliches Vorgehen der Messenden bei der Abtastung des Raumes bedingt, was zu einer Streuung der Messergebnisse selbst bei identischer Messeinrichtung und Kalibrierung führt. Die Standardunsicherheit der Probenahme wurde im Jahr 2002 für die Messung von GSM-Strahlung in einem umfangreichen Messvergleich experimentell bestimmt. Sie beträgt ca. $\pm 15\%$. Dieser Wert wurde in weiteren Messvergleichen für UMTS (2006), Rundfunkstrahlung (2007) und kürzlich auch für LTE (2013, Berichterstattung noch im Gang) bestätigt. Sie ist gemäss den Messempfehlungen als fixer Beitrag von $\pm 15\%$ bei der Ermittlung der gesamten Messunsicherheit einzusetzen.

Mit diesen zwei Beiträgen der Messeinrichtung und der Probenahme ergibt sich, nach üblichen quadratischen Summierungsregeln für die Messunsicherheit, eine Gesamtunsicherheit von typischerweise $\pm 18\%$ bis $\pm 22\%$. Weil die Gesamtunsicherheit ein Intervall mit einem Vertrauensgrad von nur 68.3 % definiert, wird oft die erweiterte Messunsicherheit gebraucht. Die erweiterte Messunsicherheit bezeichnet das Produkt der Gesamtunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor (annähernd 2). Damit wird ein Intervall mit einem erhöhten Vertrauensgrad von 95 % definiert, also ein Intervall um den Messwert herum, in dem der wahre Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt. Dies bedeutet nicht, dass ein Messergebnis in jedem Fall um diesen Betrag vom wahren Wert abweicht. Wie gross die Abweichung im konkreten Einzelfall ist, lässt sich grundsätzlich nicht angeben. Kleine Abweichungen sind häufiger, grosse seltener.

In der Praxis der Mobilfunkmessungen erhalten akkreditierte Messlaboratorien typische erweiterte Messunsicherheiten von $\pm 36\%$ bis $\pm 44\%$. Die maximale zulässige erweiterte Messunsicherheit nach den Messempfehlungen wurde mit $\pm 45\%$ definiert.

Nach Ansicht des METAS besteht derzeit (2014) keine Möglichkeit, mit modernen Messeinrichtungen und Techniken die gesamte erweiterte Messunsicherheit U von $\pm 45\%$ bei der experimentellen Bestimmung des örtlichen Höchstwertes der elektrischen Feldstärke in Innenräumen zu verkleinern.

Abkürzungen

BAFU	Bundesamt für Umwelt (vormals BUWAL: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU: Bundesamt für Umwelt)
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobilfunk 2. Generation)
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunk 4. Generation)
METAS	Eidgenössisches Institut für Metrologie
NISV	Verordnung vom 23. Dezember 1999 über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (SR 814.710)
OMEN	Ort mit empfindlicher Nutzung
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Mobilfunk 3. Generation)

Materialien

BUWAL/METAS 2002: Mobilfunk-Basisstationen (GSM) – Messempfehlung. (VU-5800-D), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00685/index.html?lang=de.

BUWAL/METAS 2003: Mobilfunk-Basisstationen (UMTS-FDD) – Messempfehlung, Entwurf.
http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01100/01108/01110/index.html?lang=de#sprungmark_e0_23.

METAS 2012: Technical report: Measurement Method for LTE Base Stations. Deutsche Übersetzung 2014 http://www.metas.ch/2012-218-808_DE