

Adaptive Antennen

Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugsempfehlung zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, BUWAL 2002



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Adaptive Antennen

Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugsempfehlung zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, BUWAL 2002

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2021: Adaptive Antennen. Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugsempfehlung zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, BUWAL 2002. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2107: 16 S.

Gestaltung

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Die kleinen Antennen in der Mitte des Mastes sind adaptive Antennen.

© BAFU

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-2107-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2021

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------------|
| <u>1 Ausgangslage</u> | <u>5</u> |
| <u>2 Zweck und Geltungsbereich</u> | <u>6</u> |
| <u>3 Adaptive Antennen</u> | <u>7</u> |
| 3.1 Definition adaptiver Antennen | 7 |
| 3.2 Massgebender Betriebszustand adaptiver Antennen | 7 |
| 3.3 Deklaration und Beurteilung adaptiver Antennen im Standortdatenblatt | 8 |
| 3.3.1 Kennzeichnung adaptiver Antennen | 9 |
| 3.3.2 Korrekturfaktor für adaptive Antennen | 9 |
| 3.3.3 Sendeleistung (ERP) | 10 |
| 3.3.4 Automatische Leistungsbegrenzung adaptiver Antennen | 10 |
| 3.3.5 Antennendiagramme für adaptive Antennen | 11 |
| 3.4 Nachweis der Einhaltung des Immissionsgrenzwertes | 11 |
| 3.5 Nachweis der Einhaltung des Anlagegrenzwertes | 12 |
| <u>4 Qualitätssicherungssystem</u> | <u>13</u> |
| <u>5 Abnahmemessung</u> | <u>14</u> |
| <u>Anhang 1: Beispiel Zusatzblatt 2 des Standortdatenblatts</u> | <u>15</u> |

1 Ausgangslage

Die bisher in der Schweiz eingesetzten Mobilfunkantennen weisen eine Abstrahlcharakteristik auf, die räumlich konstant ist oder nur innerhalb begrenzter Bereiche manuell oder ferngesteuert bei Bedarf angepasst werden kann.

Anfang 2019 hat der Bund zusätzliche Frequenzen in den Bändern bei 700 MHz, 1400 MHz und 3500 MHz bis 3800 MHz (= 3.5 Gigahertz (GHz) bis 3.8 GHz) für den Mobilfunk freigegeben. Insbesondere im Frequenzband von 3.5 GHz bis 3.8 GHz gelangen seit kurzem und in Zukunft adaptiv betriebene Antennen oder Antennensysteme zum Einsatz, die ihre Senderichtung und/oder ihr Antennendiagramm automatisch in kurzen zeitlichen Abständen ohne Veränderung der Montagerichtung anpassen können («beamforming»). Dadurch soll die Strahlung bevorzugt in jene Richtungen übertragen werden, wo sie durch die Endgeräte angefordert wird. Richtungen, in denen keine Endgeräte Daten anfordern, werden tendenziell weniger bestrahlt.

Bei der Beurteilung von Mobilfunksendeanlagen wurde bisher eine starre «worst case»-Betrachtung herangezogen, welche die spezifische Sendecharakteristik adaptiver Antennen nicht berücksichtigte. Am 17. April 2019 hat der Bundesrat deshalb eine Änderung der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) verabschiedet, mit der die Beurteilung von adaptiven Antennen geregelt wird. Gemäss der revidierten Ziffer 63 von Anhang 1 NISV gilt auch bei adaptiven Antennen als massgebender Betriebszustand der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung. Zusätzlich ist aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften die Variabilität der Senderichtungen und der Antennendiagramme zu berücksichtigen.

2 Zweck und Geltungsbereich

Der vorliegende Nachtrag zur «Vollzugsempfehlung zur NISV – Mobilfunk- und WLL-Basisstationen», BUWAL (nun BAFU), 2002, (samt allen bisherigen Nachträgen) empfiehlt, wie adaptive Antennen rechnerisch auf ihre Konformität mit der NISV überprüft werden sollen. Er gilt für Mobilfunksendeanlagen mit adaptiv betriebenen Antennen, die mit Frequenzen bis 6 GHz senden.

Der Nachtrag enthält Empfehlungen, wann Mobilfunkantennen als adaptiv im Sinne von Anhang 1 Ziffer 62 Absatz 6 NISV gelten und wie die Variabilität der Senderichtungen und der Antennendiagramme bei adaptiven Antennen gemäss Anhang 1 Ziffer 63 NISV berücksichtigt werden soll. Der Nachtrag legt fest, wie die technischen Parameter adaptiver Antennen im Standortdatenblatt festzuhalten und wie deren Anteile an der elektrischen Feldstärke der Mobilfunksendeanlage zu berechnen sind. Zudem werden Angaben gemacht, wie adaptive Antennen in den Qualitätssicherungssystemen der Mobilfunkbetreiber überprüft werden sollen.

Übergangsregelung:

Bereits vor Inkrafttreten dieses Nachtrags zur Vollzugshilfe sind adaptive Antennen mittels «worst case»-Betrachtung bewilligt worden. Die Anpassung des Betriebs dieser Antennen an den Nachtrag gilt nicht als Änderung im Sinne von Anhang 1 Ziffer 62 Absatz 5 NISV, wenn die bewilligte Sendeleistung ERP unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors nicht ändert. Gemäss Artikel 11 Absatz 2 Buchstabe b NISV ist im Standortdatenblatt der massgebende Betriebszustand nach Anhang 1 zu dokumentieren. Mit der Anwendung des Nachtrags wird der massgebende Betriebszustand mit zwei Parametern ergänzt (vgl. Kap. 3.3.1). Es ist der Behörde daher ein aktualisiertes Standortdatenblatt nachzureichen.

3 Adaptive Antennen

3.1 Definition adaptiver Antennen

Die NISV definiert adaptive Antennen wie folgt:

Anhang 1 Ziff. 62 Abs. 6 NISV

⁶ Sendeantennen gelten als adaptiv, wenn ihre Senderichtung oder ihr Antennendiagramm automatisch in kurzen zeitlichen Abständen angepasst wird.

Es gibt mehrere Bezeichnungen, wie Antennen adaptiv betrieben werden und deren Definitionen sind nicht immer eindeutig (beamforming, beam switching, beam steering, beam hopping, (massive) MIMO¹, etc.).

Unter adaptiven Antennen im Sinne der NISV werden Sendeantennen oder Antennensysteme verstanden, die ihre Senderichtung und/oder ihr Antennendiagramm automatisch durch Algorithmen in kurzen zeitlichen Abständen (im Bereich von Millisekunden bis einige Sekunden) ohne Veränderung der Montagerichtung anpassen. Diese Anpassung kann sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Senderichtung geschehen.

Als adaptive Antennen gelten auch konventionelle Antennen oder Antennensysteme, die adaptiv betrieben werden. Adaptive Antennen können auch ein Teil einer Kombiantenne sein, die aus nicht adaptiv und adaptiv betriebenen Antennen innerhalb eines Gehäuses (sog. Radom) besteht.

Adaptive Antennen können jedoch auch nicht adaptiv betrieben werden, also als Antennen, deren räumliches Abstrahlungsmuster konstant bleibt. Sie gelten in diesem Fall nicht als adaptive Antennen.

Ebenfalls nicht als adaptive Antennen gelten Antennen, deren Senderichtung von Hand oder durch Fernsteuerung individuell angepasst werden (z. B. Anpassen des elektrischen Neigewinkels bei konventionellen Sektorantennen).

Der Begriff «adaptive Antennen» bezeichnet nachfolgend stets *Antennen, die adaptiv im Sinne der NISV betrieben werden*.

3.2 Massgebender Betriebszustand adaptiver Antennen

Den massgebenden Betriebszustand für adaptive Antennen definiert die NISV folgendermassen:

Anhang 1 Ziff. 63 NISV

Als massgebender Betriebszustand gilt der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung; bei adaptiven Antennen wird die Variabilität der Senderichtungen und der Antennendiagramme berücksichtigt.

Nach Anhang 1 Ziffer 63 NISV wird bei der Festlegung des massgebenden Betriebszustandes einer adaptiven Antenne deren Variabilität von Senderichtung und Antennendiagramm berücksichtigt. Konkret ist dem Umstand

¹ Multiple Input Multiple Output

Rechnung zu tragen, dass adaptive Antennen nicht gleichzeitig in alle Richtungen die maximal mögliche Sendeleistung abstrahlen können – was einem «worst case»-Szenario entsprechen würde; in der Realität wird die Sendeleistung für Signale, die in verschiedene Richtungen abgestrahlt werden, aufgeteilt. Oder anders ausgedrückt: Die maximale Sendeleistung kann zu einem gewissen Zeitpunkt nur in eine Richtung abgestrahlt werden. Dieser Umstand ist bei der Festlegung des massgebenden Betriebszustands adaptiver Antennen wie folgt zu berücksichtigen:

- Die Berechnung basiert auf «umhüllenden Antennendiagrammen» (Kap. 3.3.5), die für jede Senderichtung den maximal möglichen Antennengewinn berücksichtigen.
- Auf die maximale Sendeleistung $ERP_{max, n}$ der adaptiven Antenne n (entspricht der totalen Eingangsleistung der adaptiven Antenne multipliziert mit dem maximalen Antennengewinn) kann ein Korrekturfaktor K_{AA} (Kap. 3.3.2) angewendet werden.²
- Der Korrekturfaktor K_{AA} ist abhängig von der Anzahl separat ansteuerbarer Antenneneinheiten (Sub-Arrays) (vgl. Tabelle 1).
- Diese korrigierte Sendeleistung entspricht der bewilligten Sendeleistung ERP_n und wird im Standortdatenblatt eingetragen.
- Voraussetzung für die Anwendung des Korrekturfaktors für adaptive Antennen ist, dass diese mit einer automatischen Leistungsbegrenzung ausgestattet sind, welche sicherstellt, dass die über einen Zeitraum von 6 Minuten gemittelte Sendeleistung die bewilligte Sendeleistung ERP_n nicht überschreitet.

3.3 Deklaration und Beurteilung adaptiver Antennen im Standortdatenblatt

Die Berechnung der elektrischen Feldstärke an den Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) im Standortdatenblatt wird für Mobilfunksendeanlagen mit adaptiven Antennen so durchgeführt, wie in der Vollzugsempfehlung samt Nachträgen beschrieben.

Adaptive Antennen können mit nicht adaptiven Antennen zusammen eine Anlage bilden – es gilt der Anlagebegriff gemäss Anhang 1 Ziffer 62 NISV.

Jede Antenne einer Anlage ist im Standortdatenblatt in einer separaten Spalte aufzuführen und zu berechnen. Die Bildung von Summenleistung zwischen adaptiven und nicht-adaptiven Antennen im selben Antennengehäuse ist nicht zulässig, da deren Beurteilung nicht der gleiche massgebende Betriebszustand zugrunde liegt.

Ob eine Antenne adaptiv oder nicht-adaptiv betrieben wird, muss in Zusatzblatt 2 des Standortdatenblattes deklariert werden. Ein Beispiel des angepassten Zusatzblattes 2 findet sich in Anhang 1.

² Die maximale Sendeleistung $ERP_{max, n}$ wird auf die Antennenelemente bzw. Sub-Arrays der Antenne n aufgeteilt.

3.3.1 Kennzeichnung adaptiver Antennen

Adaptive Antennen werden in Zusatzblatt 2 folgendermassen deklariert:

- Unterhalb der «Typenbezeichnung der Antenne» wird ein neues Feld «Adaptiver Betrieb» eingefügt, das mit «ja» oder «nein» ausgefüllt wird.
- In einem weiteren Feld wird zudem die Anzahl Sub-Arrays angegeben. Sub-Arrays mit mehreren Polarisierungen – z. B. mit kreuzpolarisierten Dipolen – werden nur einmal gezählt.

Sind adaptive Antennen zusammen mit nicht-adaptiven Antennen im selben Antennengehäuse (sog. Radom) verbaut, sind diese im Standortdatenblatt in einer separaten Spalte aufzuführen und zu berechnen. Als Unterkante gilt diejenige des gesamten Gehäuses, auch bei solchen Modellen, bei denen zwei Gehäuse miteinander fest verschraubt sind.

3.3.2 Korrekturfaktor für adaptive Antennen

Der Korrekturfaktor K_{AA} für adaptive Antennen mit aktiver automatischer Leistungsbegrenzung (Kap. 3.3.4) ist abhängig von der Anzahl separat ansteuerbarer Antenneneinheiten (Sub-Arrays). Der Korrekturfaktor K_{AA} wird auf die maximale Sendeleistung $ERP_{max, n}$ angewendet. Bei den in Tabelle 1 angegebenen Korrekturfaktoren handelt es sich jeweils um die für die entsprechende Sub-Array-Anzahl maximal zugelassene Korrektur. Je grösser die Korrektur desto kleiner der Zahlenwert für den Faktor. Die in der Tabelle angegebenen Werte entsprechen also der Untergrenze für den Zahlenwert des Korrekturfaktors.

Tabelle 1:

Korrekturfaktor K_{AA}

| Anzahl Sub-Arrays | Korrekturfaktor K_{AA} | Korrekturfaktor in dB |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| 64 und mehr | ≥ 0.10 | ≥ -10 dB |
| 32 bis 63 | ≥ 0.13 | ≥ -9 dB |
| 16 bis 31 | ≥ 0.20 | ≥ -7 dB |
| 8 bis 15 | ≥ 0.40 | ≥ -4 dB |
| 1 bis 7 | 1 | 0 dB |

Der Korrekturfaktor für adaptive Antennen muss im Qualitätssicherungssystem (Kap. 4) hinterlegt sein. Er darf nur angewendet werden, wenn das Qualitätssicherungssystem und die automatische Leistungsbegrenzung von einer unabhängigen, externen Prüfstelle auditiert wurden.³

Wenn keine aktive automatische Leistungsbegrenzung für die adaptive Antenne vorhanden ist und bei nicht adaptiven Antennen, darf der Korrekturfaktor nicht geltend gemacht werden, d. h. der Korrekturfaktor beträgt in dem Fall 1 (resp. 0 dB).

³ Qualitätssicherung zur Einhaltung der Grenzwerte der NISV bei Basisstationen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse, BAFU; 16.1.2006.

3.3.3 Sendeleistung (ERP)

Für adaptive Antennen wird die äquivalente Sendeleistung (ERP) pro Antenne (in Watt) eingetragen, die der mit dem Korrekturfaktor (Kap. 3.3.2) multiplizierten maximalen Sendeleistung entspricht.

Die massgebende Sendeleistung ERP_n der adaptiven Antenne n beträgt also:

$$ERP_n = K_{AA} \times ERP_{max,n}$$

wobei K_{AA} dem Korrekturfaktor und $ERP_{max,n}$ der maximalen Sendeleistung ERP entspricht, für die der maximale Antennengewinn herangezogen wurde.

Anhang 1 Ziffer 64 der NISV legt den Anlagegrenzwert für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke fest. Das bedeutet, dass über ein bestimmtes Zeitintervall der quadratische Mittelwert der Feldstärke gebildet werden soll resp. der Mittelwert der zugrundeliegenden Sendeleistung.

Konkret heisst das für «Time Division Duplex»-Betrieb (TDD), dass das Verhältnis der Downlink-Dauer in einem bestimmten Zeitintervall (Duty Cycle) bei der Angabe der Sendeleistung (ERP) ERP_n berücksichtigt werden kann.⁴

Der Duty Cycle für TDD-Betrieb wird im Standortdatenblatt nicht angegeben, muss allerdings im Qualitätssicherungssystem hinterlegt werden, um bei der Überwachung der Sendeleistung den Leistungspfad korrekt zu dokumentieren.

3.3.4 Automatische Leistungsbegrenzung adaptiver Antennen

Die automatische Leistungsbegrenzung detektiert dauernd die abgestrahlte Gesamtleistung einer adaptiven Antenne. Wenn kurzzeitige Leistungsspitzen über der im Standortdatenblatt deklarierten Sendeleistung ERP_n auftreten, wird die Leistung soweit gedrosselt (und damit verbunden die zur Verfügung gestellte Kapazität), dass die über einen Zeitraum von 6 Minuten gemittelte Sendeleistung die deklarierte Sendeleistung nicht überschreitet.

Das Funktionieren der automatischen Leistungsbegrenzung wird im Qualitätssicherungssystem sichergestellt. Die automatische Leistungsbegrenzung muss wie das Qualitätssicherungssystem von einer unabhängigen, externen Prüfstelle periodisch auditiert werden. Eine Akkreditierung dieser Prüfstelle für die Durchführung von Audits ist erwünscht. Die Auditberichte sind den zuständigen Behörden vorzulegen.

Ausfälle der automatischen Leistungsbegrenzung müssen rapportiert werden; ebenso Überschreitungen des 6-Minutenmittelwertes der Sendeleistung über die deklarierte Sendeleistung ERP_n hinaus.

Die Funktionsweise und Software-Lösung der automatischen Leistungsbegrenzung müssen transparent und von der Behörde überprüfbar sein.

Die Fehlermeldungen aus den Qualitätssicherungssystemen werden wie bis anhin der Behörde gemeldet.

⁴ Zum Beispiel beträgt der Duty Cycle für den TDD-Betrieb mit 4 Zeiteinheiten Downlink und einer Zeiteinheit Uplink 0.8 resp. ca. -1 dB.

3.3.5 Antennendiagramme für adaptive Antennen

Für adaptive Antennen werden dem Standortdatenblatt Antennendiagramme beigelegt, die für jede Sende- richtung den maximal möglichen Antennengewinn berücksichtigen resp. alle Einzeldiagramme für die vorge- sehenen Senderichtungen umhüllen (daher «umhüllende Antennendiagramme»). Der Behörde sind diese um- hüllenden Diagramme auch in elektronischer Form abzugeben. Auf Wunsch der Behörde sind ebenfalls die dem umhüllenden Diagramm zugrundeliegenden Einzeldiagramme abzugeben.

Die umhüllenden Antennendiagramme müssen alle Szenarien oder Konstellationen enthalten, für die die adaptive Antenne vorgesehen ist. Soll später die adaptive Antenne in einer Konstellation eingesetzt werden, die nicht vom umhüllenden Antennendiagramm abgedeckt wird, z. B. durch den Einsatz neuer Software, ist der Be- hörde ein aktualisiertes Standortdatenblatt mit dem entsprechend angepassten umhüllenden Antennendiagramm einzureichen.

Die umhüllenden Antennendiagramme können berücksichtigen, dass Verkehrskanäle für Winkel, die stark von der Hauptstrahlrichtung abweichen, einen kleineren Gewinn ausweisen. D. h. es wird nicht einfach eine Umhüllende um alle Einzeldiagramme der Verkehrsbeams – die jeweils auf 0 dB normiert sind – erzeugt, sondern für jede Richtung wird der Antennengewinn des jeweiligen Diagramms berücksichtigt.

Die umhüllenden Antennendiagramme von adaptiven Antennen haben oft kein eindeutiges Maximum resp. keine eindeutige Hauptsenderichtung. Vielfach beträgt die Richtungsdämpfung über einen gewissen Winkelbereich 0 dB. Das Auslesen des «Winkels des OMEN zur kritischen Senderichtung» (horizontal oder vertikal) ist dann unter Umständen nicht eindeutig. Um dem entgegen zu wirken, müssen die umhüllenden Antennendiagramme so ausgerichtet sein, dass 0° Azimut und 0° Elevation immer der Senkrechten auf dem Antennenpanel ent- sprechen.

Der Behörde muss ersichtlich gemacht werden, aus welchen Einzeldiagrammen das umhüllende Antennen- diagramm erzeugt wurde.⁵

Im Qualitätssicherungssystem wird sichergestellt, dass die in Betrieb stehende Konstellation mit dem um- hüllenden Antennendiagramm konform ist.

Für Abnahmemessungen sind auch die Diagramme der Physical Broadcast Channels (PBCH) zur Verfügung zu stellen. Diese werden für die Berechnung des Beurteilungswertes (Hochrechnung auf den massgebenden Betriebszustand) benötigt.

3.4 Nachweis der Einhaltung des Immissionsgrenzwertes

Der rechnerische Nachweis der Einhaltung des Immissionsgrenzwertes gemäss Anhang 2 NISV an einem Ort für den kurzfristigen Aufenthalt wird wie bis anhin im Zusatzblatt 3a des Standortdatenblattes erbracht. Dafür wird die Sendeleistung, wie sie in Zusatzblatt 2 deklariert wurde, herangezogen. Da die automatische Leistungsbegrenzung bei adaptiven Antennen sicherstellt, dass die bewilligte Sendeleistung über 6 Minuten

⁵ Z.B. als Auflistung im Header der Datei mit dem umhüllenden Antennendiagramm.

gemittelt immer eingehalten wird, ist gewährleistet, dass auch der mit dieser Sendeleistung berechnete Feldstärkewert über 6 Minuten gemittelt immer eingehalten ist. Gemäss Anhang 2 Ziffer 11 NISV gilt der Immissionsgrenzwert für den über eine Dauer von 6 Minuten gemittelten Effektivwert der elektrischen Feldstärke.

3.5 Nachweis der Einhaltung des Anlagegrenzwertes

Der rechnerische Nachweis der Einhaltung des Anlagegrenzwertes gemäss Anhang 1 Ziffer 64 NISV an einem Ort mit empfindlicher Nutzung (OMEN) wird wie bis anhin im Zusatzblatt 4a (oder nach einer Abnahmemessung auch mit Zusatzblatt 4b) des Standortdatenblattes erbracht. Dafür wird die Sendeleistung, wie sie in Zusatzblatt 2 deklariert wurde, herangezogen.

Da die umhüllenden Antennendiagramme von adaptiven Antennen im Vergleich zu konventionellen Sektorantennen oftmals kein ausgeprägtes Maximum haben (d. h. 0 dB Richtungsdämpfung über einen grösseren Winkelbereich), kann es sein, dass mehr OMEN als bei konventionellen Antennen untersucht werden müssen. Im Sinne der Transparenz kann es daher sinnvoll sein, das Auffinden der OMEN, die am stärksten belastet sind, mit einer Feldstärkekarte zu belegen.

4 Qualitätssicherungssystem

Wie oben festgehalten, müssen die im Rundschreiben «Qualitätssicherung zur Einhaltung der Grenzwerte der NISV bei Basisstationen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse», BAFU 2006, empfohlenen Qualitätssicherungssysteme für adaptive Antennen mit zusätzlichen Parametern, welche einen Einfluss auf Sendeleistung und Abstrahlverhalten haben, dokumentiert und überwacht werden:

- Status, ob die Antenne adaptiv betrieben wird
- Korrekturfaktor K_{AA}
- Angabe des Betriebsmodus (eingestelltes Antennendiagramm, resp. «Coverage Szenario»); stimmt der Betriebsmodus mit dem umhüllenden Diagramm überein? (Wird die Antenne also derart betrieben, dass alle möglichen Antennendiagramme innerhalb des umhüllenden Antennendiagramms liegen?)
- Kontrolle, ob die automatische Leistungsbegrenzung aktiviert ist
- Zeitintervall, über welches die Sendeleistung bei der automatischen Leistungsbegrenzung gemittelt wird (6 Minuten)
- Angabe des Duty Cycle, wenn die Antenne mit TDD betrieben wird;

Festgestellte Abweichungen vom bewilligten Zustand müssen innerhalb von 24 Stunden behoben werden. Die Fehlerprotokolle werden der zuständigen Vollzugsbehörde alle zwei Monate unaufgefordert zugestellt und mindestens zwölf Monate aufbewahrt. Alle obigen Angaben müssen für die Behörde uneingeschränkt einsehbar und nachvollziehbar sein.

5 Abnahmemessung

Nach der Vollzugsempfehlung für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, BUWAL, 2002, soll in der Regel eine Abnahmemessung durchgeführt werden, wenn gemäss rechnerischer Prognose an einem OMEN der Anlagegrenzwert zu 80% erreicht wird. In begründeten Fällen kann die Behörde diese Schwelle auch niedriger ansetzen oder aber auch auf die Messung verzichten, wenn die Feldstärke mehr als 80% des Anlagegrenzwertes beträgt.

In der Praxis wurden oft bei allen OMEN, bei denen der Anlagengrenzwert zu 80% oder mehr ausgeschöpft war, eine Abnahmemessung angeordnet. Beim Einsatz von adaptiven Antennen kann es aufgrund der breiteren umhüllenden Antennendiagramme potentiell mehr OMEN geben, deren Belastung diese Schwelle erreicht. Die Behörde kann unter Berücksichtigung fachlicher Gründe und ihrer Erfahrung eine Auswahl der zu messenden OMEN treffen.

Das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) hat am 18.2.2020 den technischen Bericht «Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz» publiziert. Darin wird erläutert, wie die Strahlung adaptiver Antennen gemessen und auf den Beurteilungswert hochgerechnet wird.

Anhang 1: Beispiel Zusatzblatt 2 des Standortdatenblatts

Zusatzblatt 2: Technische Angaben zu den Sendeantennen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse der Anlage

Höhenkote 0:

| Laufnummer <i>n</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---|---|---|---|----|
| Nr. der Antenne | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | |
| Frequenzband (in MHz) | 1800 | 2100 | 2600 | 3500 | 3500 | | | | | |
| Netzbetreiber | Firma 1 | Firma 1 | Firma 1 | Firma 1 | Firma 1 | | | | | |
| Typenbezeichnung der Antenne | K000001 | K000001 | K000001 | A000002 | A000002 | | | | | |
| Adaptiver Betrieb | Nein | Nein | Nein | Ja | Ja | | | | | |
| Anzahl Sub-Arrays | - | - | - | 32 | 32 | | | | | |
| Höhe der Antenne über Höhenkote 0 (in m) | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 20.0 | 20.0 | | | | | |
| ERP_n : Sendeleistung (in W) | 2000 | | | 1200 | 1200 | | | | | |

Hauptstrahlrichtung

| | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|-----|-----|--|--|--|--|
| Azimet (in Grad von N) | 0 | 0 | 0 | 0 | 120 | 240 | | | | |
| Mechanischer Neigungswinkel (down tilt, in Grad von der Horizontalen) | -3 | -3 | -3 | -3 | 0 | 0 | | | | |
| Elektrischer Neigungswinkel (down tilt, in Grad) | 0 ÷ -10 | 0 ÷ -10 | 0 ÷ -10 | 0 ÷ -10 | 0 | 0 | | | | |
| Gesamter Neigungswinkel (down tilt, in Grad von der Horizontalen) | -3 ÷ -13 | -3 ÷ -13 | -3 ÷ -13 | -3 ÷ -13 | 0 | 0 | | | | |

Relevant für die Ermittlung des Einspracheperimeters sind die Antennen im Sektor von ...-45.....° bis ...45.....°

 ERP_{Sektor} : Summierte Sendeleistung der Antennen in diesem Sektor:2000..... W AGW : Anlagegrenzwert:6..... V/m**Maximale Distanz für die Einspracheberechtigung:**

$$d_{Einsprache} = \frac{70}{AGW} \cdot \sqrt{ERP_{Sektor}} =$$

522 mZu übertragen in
Ziffer 6 des Hauptformulars