

**DEPARTEMENT
BAU, VERKEHR UND UMWELT**

Abteilung für Umwelt

Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau
Direkt 062 835 33 60

Abteilung für Baubewilligungen

1. April 2022

Stellungnahme

Baugesuch Nr.: BVUAFB.20.1594 / BVUAFU.22.427
Gemeinde: Gipf-Oberfrick
Gesuchsteller: Swisscom (Schweiz) AG Grosspeterstrasse 4002 Basel
Bauvorhaben: Neubau Mobilfunkanlage mit Mast H=25.0m, Systemtechnik und neuen Antennen. / Swisscom / OBFR, Rev: 1.11; datiert vom 23. 4. 2021
Lage: Parzelle Nr. 965 Koordinaten: 2641981/1260136
Zone: innerhalb der Bauzone

Sachverhalt

Die Swisscom Schweiz AG ersucht den Gemeinderat Gipf-Oberfrick um die Baubewilligung für den Neubau sowie den Betrieb einer Mobilfunkanlage an der Landstrasse 92.

Der beigelegte Evaluationsbericht vom 6. Juli 2020 entspricht strukturell der kantonalen Praxis und ist nachvollziehbar formuliert.

Die Gemeinde verlangte von der Bauherrin das Standortdatenblatt, gemäss dem Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugsempfehlung zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, BUWAL 2002, zu überarbeiten. Dies wurde mit dem vorliegenden Standortdatenblatt vom 23.4.2023 Version 1.11 befolgt und zur NIS-Prüfung dem Kanton vorgelegt.

Es ist geplant, einen neuen Mast zu errichten und folgende neuen Sender daran anzubringen:

| Operator | Sender | Leistung [Watt _{ERP}] | Frequenz [MHz] | Adaptiv | Sub-Arrays |
|----------|---------|---------------------------------|----------------|---------|------------|
| Swisscom | 1SC0709 | 1000 | 700-900 | nein | - |
| Swisscom | 2SC0709 | 1200 | 700-900 | nein | - |
| Swisscom | 3SC0709 | 800 | 700-900 | nein | - |
| Swisscom | 1SC1426 | 2255 | 1400-2600 | nein | - |
| Swisscom | 2SC1426 | 2500 | 1400-2600 | nein | - |
| Swisscom | 3SC1426 | 1780 | 1400-2600 | nein | - |

| | | | | | |
|----------|---------|-----|------|----|----|
| Swisscom | 1SC3636 | 300 | 3600 | ja | 16 |
| Swisscom | 2SC3636 | 300 | 3600 | ja | 16 |
| Swisscom | 3SC3636 | 300 | 3600 | ja | 16 |

Die Swisscom Schweiz AG erstellt einen neuen Mast mit Sender auf einer Höhe von ca. 22.60 m über Terrain.

Der nächste Ort mit empfindlicher Nutzung (OMEN, in diesem Fall zwei) mit der höchst ausgewiesenen NIS-Belastung - hier im 1. Obergeschoss an der Hofackerstrasse 14 (vgl. Situationsplan Punkt 02) respektive im Erdgeschoss an der Landstrasse 92 (vgl. Situationsplan Punkt 03) - befinden sich auf einer Höhe von ca. 4.81 m über Terrain und ca. 82 m (vgl. Situationsplan Punkt 02) respektive ca. 1.50 m über Terrain und ca. 75.70 m (vgl. Situationsplan Punkt 03) von der Sendeanlage entfernt.

In der näheren Umgebung befinden sich nach den Angaben der Gesuchstellerin weitere Bauten mit empfindlicher Nutzung, welche im Einflussbereich der Mobilfunkanlage stehen.

Mit Schreiben der Abteilung für Baubewilligungen (AfB) des Departements Bau, Verkehr und Umwelt (BVU) vom 30. Juni 2021 wurde dem Gemeinderat Gipf-Oberfrick die Stellungnahme der Abteilung für Umwelt, datiert vom 18. Juni 2021, zur beantragten Sendeanlage der Swisscom Schweiz AG zugestellt. Die Prüfung der NIS-Fachstelle ergab, dass die in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vorgeschriebenen Grenzwerte von der Anlage eingehalten werden. Der Anlagegrenzwert von 5.0 V/m (vgl. Standortdatenblatt) wird am meist betroffenen Ort mit empfindlicher Nutzung zu 99 % ausgeschöpft. Die Abteilung für Umwelt hat dem Neubauprojekt der Mobilfunkbetreiberin mit Auflagen zugestimmt.

Der Gemeinderat Gipf-Oberfrick übermittelte am 29. September 2021 der AfB die eingegangenen Einwendungen zur Stellungnahme.

Erwägungen

Die Abteilung für Umwelt äussert sich zu den NISV-relevanten Einwendungspunkten.

Präambel:

Die Evolution heutiger Mobilfunkantennen

Anfang der 1990-er Jahre wurden sehr häufig sogenannte Rundstrahler eingesetzt. Mit Rundstrahlern ist eine gute Flächenversorgung möglich. Das Gebot der Stunde war mit möglichst geringem Aufwand für die dazumal wenigen Mobilfunkkunden eine flächendeckende Mobilfunkversorgung zu realisieren. Das Horizontaldiagramm ist kreisförmig, das Vertikaldiagramm ist gebündelt. Schon früh wurden mehrere Empfangsantennen, also zum Beispiel eine Sende- und Empfangsantenne und eine zusätzliche Empfangsantenne als erster Schritt in Richtung "MIMO"-Betrieb (MIMO = Multiple Input Multipel Output) eingesetzt. Das Ziel ist hierbei eine bessere Übertragungsqualität.

Als generelle Regel gilt für die Relation zwischen der Bauform einer Antenne und deren Richtdiagramm: Ist die Ausdehnung der Antenne in der horizontalen / vertikalen Richtung klein bzw. gross, dann ist das zugehörige Diagramm breit bzw. schmal.

Die Größe des vertikalen Öffnungswinkels, d.h., des Winkelbereichs, in den der überwiegende Teil der elektromagnetischen Energie abgegeben wird, ist hauptsächlich abhängig von der vertikalen Abmessung der verwendeten Antenne im Verhältnis zur Betriebswellenlänge. Mobilfunkantennen werden als "Antennenarray" aufgebaut, d.h. sie bestehen beispielsweise aus einer bestimmten Anzahl an Dipolen, die zum Erzielen der vertikalen Bündelung übereinander gestockt angeordnet werden. Je mehr Dipole vertikal übereinander angeordnet werden, desto besser bündelt die Antenne in der Vertikalen, d.h. ihr vertikaler Öffnungswinkel wird kleiner. Typischerweise haben die Einzeldipole eine Abmessung von $\lambda/2$ (d.h. etwa 16 cm bei GSM900 bzw. 7,5 cm bei GSM1800). Sehr häufig werden im Mobilfunk Sektor-Antennen mit einer Bauhöhe von 1,3 Meter eingesetzt, da diese einen guten Kompromiss aus vertikalem Bündelungsverhalten, Gewicht, Windlast und optischer Sichtbarkeit darstellen. Werden also GSM900-Antennen mit einer Bauhöhe von 1,3 Meter hergestellt, haben diese automatisch einen größeren vertikalen Öffnungswinkel (typisch 15°) als GSM1800-Antennen mit gleicher Vertikalabmessung (typisch 7°). Das gleiche gilt natürlich auch bei Dualbandantennen.

Um dem zunehmenden Kapazitätsbedarf zu genügen, werden heute in der Regel sogenannte Sektor-Antennen eingesetzt. Das Horizontaldiagramm ist ein Sektor förmiger Kreisausschnitt, das Vertikaldiagramm ist gebündelt. Durch eine Anordnung von meist drei Sektor-Antennen ist eine gute Flächenversorgung (360°) möglich. Die Kapazität vergrößert sich entsprechend. "MIMO"-Betrieb ist ebenfalls vorgesehen. Im inneren besteht die Antenne in der Regel aus spaltenförmigen angeordneten Dipolen. Die in $+45^\circ$ bzw. -45° (Polarisation) ausgerichteten Dipole bilden jeweils ein Antennensystem. Mit zwei Antennensystemen ist "MIMO" möglich.

Um eine Störung durch Interferenzen zwischen verschiedenen Funkzellen (Nachbarstandorte) zu minimieren, wurden schon früh mechanische Down-Tilt-Steller eingesetzt, mit denen die Antenne mechanisch bezüglich der Senkrechten gekippt werden kann. Bei heutigen Sektor-Antennen kann dieser Down-Tilt elektrisch verstellt werden. Dazu wird die Laufzeit (Phase-Shifter) zu den einzelnen Elementarantennen (gestockte Dipole) über zusätzliche Leitungsstücke verändert. Kommt das Signal bei allen Elementarantennen gleichzeitig an, zeigt das vertikale Diagramm in 0° -Richtung. Kommen die Signale um Δ° versetzt an, weist das Diagramm einen Down-Tilt auf. Die mechanische Verstellung für den elektrischen Down-Tilt ist bei heutigen Netzen mit einem Servomotor (RET = Remote Electrical Tilt) realisiert.

Seit den 1990er Jahren ist die Anzahl der für den Mobilfunk genutzten Frequenzbänder kontinuierlich gestiegen. Dem 900MHz-Band und 1800MHz-Band folgten das 2100MHz-, 700MHz-, 800MHz-, 1400MHz-, 2600MHz- und 3500MHz-Band. Um die Anzahl der Antennen auf den Dächern nicht immer weiter ansteigen zu lassen, sind in modernen Sektorenantennen mehrere Frequenzbänder in einem Gehäuse integriert. Man spricht von Multiband-Antennen.

Massive-MIMO-Funksysteme – Intelligente Antennensysteme

Die jüngste Entwicklung sind intelligente Antennensysteme, sie werden auch Smart-Antennen genannt. Bei diesen sind die Elementarantennen in mehr als zwei Spalten und Zeilen ("Arrays") angeordnet. Damit wird eine horizontale und vertikale Bündelung zu schmalen Antennendiagrammen ("Beams") möglich. Da die Verstärker integriert sind, können die Beams elektronisch gesteuert werden. Der Haupttreiber für neue Entwicklungen sind Coverage (Versorgungsgröße) und Kapazität sowie Latenz. Durch Beamforming (BF) wird MIMO für viele Nutzer möglich (massive MIMO).

Wie erwähnt bestehen die BF-Antennen aus Elementarantennen in Spalten und Zeilen (aktive Antennenarrays) mit Sub-Arrays, die das Feld der Antenne horizontal und vertikal elektronisch formen können. Dazu verfügt jede Elementarantenne bzw. jedes Sub-Array über einen eigenen Verstärker. Die

zur Verbindung mit den Nutzern obligatorischen Beams werden entsprechend der jeweiligen zeitabhängigen Verteilung der Nutzer in der Zelle synchron erzeugt. Intelligente Antennen im Frequenzbereich von 2600MHz (Wellenlänge: 11.5 cm) und 3500MHz (8.6 cm) sind in ihrer Bauform vergleichsweise kompakt (ca. 100cm x 52 cm x 18 cm). Da sie im Vergleich zu Wellenlänge gross sind, haben sie sehr gute Bündelungseigenschaften in der horizontalen wie auch in der vertikalen Ebene.

Die Daten zu verschiedenen Nutzern können nicht nur durch unterschiedliche Codes, wie bei UMTS und LTE, übertragen werden, sondern räumlich separiert durch verschiedene Beams. Über verschiedene Codes können mehrere Nutzer in einem Beam versorgt werden. Multi User MIMO (MU-MIMO) basiert auf einer Mehrweg-Ausbreitung zwischen Sender und Empfänger. Das von der Basisstation (Input) ausgesandte Signal gelangt über mehrere Beams und Ausbreitungswege zum Endgerät (UE = User Equipment) und wird dort empfangen. Der Übertragungskanal zwischen Basisstation (BS) und UE wird dabei als System mit Input und Output betrachtet. Der Vorteil besteht aus der Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses. Durch die Bündelung in horizontale und vertikale Richtung ist der Antennengewinn etwa um 6dB (Faktor 4 in Bezug auf die Leistung, Faktor 2 in Bezug auf die Feldstärke) grösser. Eine konventionelle Ermittlung der umweltschutzrechtlichen Feldstärke muss so erfolgen, als ob die hohe Bündelung in jeder beliebigen Richtung auftritt. Deshalb muss im Rahmen der Standortbewilligung eine Hüllkurve über alle möglichen Beams bestimmt und verwendet werden. Dazu wird für die gewählte Betriebsart die Richtcharakteristik für alle horizontalen Beams im Labor ausgemessen und in ein Horizontaldiagramm überführt. Der gleiche Prozess gilt auch für die Erstellung des Vertikaldiagramms.

Durch das Splitten der Antenne in Sub-Arrays und der Einspeisung desselben Radiosignals mit den passenden Sendeleistungs-Amplituden und Phasen, man spricht von Weighting (Gewichtung), zu den unterschiedlichen Sub-Arrays ist es nicht nur möglich die Form des Beams, sondern auch deren Richtung dynamisch anzupassen. Mit der Nutzung von BF-Antennen ist die Sendeleistungs-Amplitude sowie die Phase ein Teil von der Basisband-Signalverarbeitung in der BS (keine Feeder mehr nötig zwischen BTS und Antenne). Die BS bestimmt also in einem integrierten Sinn die Beam-Form wie auch die Beam-Richtung.

Gemäss der Formel von Shannon ist der Gewinn für die Kanalkapazität limitiert, wenn das Signal-Rauschverhältnis gross ist. Wenn der Signal-Rauschabstand gross ist, ist es vorteilhaft über zwei Kanäle zu senden, die je ein geringeres Signal-Rauschverhältnis haben, als über einen Kanal mit sehr gutem Signal-Rauschabstand.

Bei hohem Signal-Rauschabstand teilt die BS die Sendeleistung auf unterschiedliche Kanäle auf, um die Vorteile der massive MIMO-Antennen auszunutzen. Dies bedeutet, dass mehrfache Datenströme zwischen BS und UE gesendet werden, jeder Datenstrom nutzt sein eigener Kanal mit einer entsprechenden Senderleistungs-Amplitude und Phase. Jeder Beam wird dadurch mit geringerer Leistung emittiert. Bei SU-MIMO werden mehrfache Datenströme an einen Single-User (SU) gesendet für eine erhöhte Bitrate. Und bei MU-MIMO werden mehrere Datenströme an Mehrere-User (MU) gesendet für erhöhte Systemkapazität.

Es gibt zwei unterschiedliche Beams. Der Broadcast-Beam wird für die Signalisierung benötigt. Er ist permanent on Air und wird nur durch die BS definiert. Ein Traffic-Beam wird für die Übertragung der Userdaten generiert. Er weist zwei schmale Öffnungswinkel auf mit einem hohen Gewinn. Er ist nicht permanent on Air.

Signalisierungskanäle können mittels mehreren schmalen Beams oder mit einem einzigen breiten Beam gesendet werden. Man spricht von Beam-Sweeping. Die überstrahlte Region entspricht der Zellengrösse bzw. dem Versorgungsgebiet. Innerhalb dieser Region können Traffic-Beams erzeugt

werden. Broadcast-Beams haben typischerweise kleinere Sendeleistungen. Weil sie permanent on Air sind, werden sie für eine Abnahmemessung herangezogen.

Für die Generierung eines Traffic-Beams gibt es grundsätzlich zwei Verfahren:

1. Reziproker BF-Precoder:

Das UE sendet ein Referenzsignal (SRS = Sounding Reference Signal) zur BS damit sie eine Taxierung der Kanal-Qualität durchführen kann. Die BS konfiguriert damit die vertikalen und horizontalen Antennen-Arrays: also mit welche Richtungen, wie viele Beams (Kanäle) und mit welcher Beam-Form zum UE gesendet werden soll. Beim reziproken Verfahren hat die BS zu allen Sub-Arrays für deren Koordinierung einen vollen Zugriff. Darum besteht eine maximale Flexibilität für die machbaren Beam-Formen wie auch eine maximale Potenzialität für die brauchbaren Beam-Richtungen. Der Degree of Freedom (DoF) ist maximal, dafür sind die System-Kosten ebenfalls maximal.

2. Codebook BF-Precoder

Die BS sendet ein Referenzsignal (CSI-RF = Channel State Information Reference Signal) zum UE und dieses evaluiert damit die Kanal-Qualität. Abhängig vom Resultat verlangt das UE von der BS eine horizontale und vertikale Antennen-Array-Konfiguration. Darin sind wie beim reziproken Verfahren enthalten: welche Richtungen, wie viele Beams (Kanäle) und mit welcher Form die BS zum UE senden soll. Das UE wird aus einer 3GPP-Liste (3rd Generation Partnership Project) von vordefinierten Antennen-Array-Konfiguration auswählen (Precoding Codebook). Der DoF ist eingeschränkt, dafür die System-Kosten tief. Das Typ-1-Codebook ist geeignet für SU-MIMO, das Typ-2-Codebook für MU-MIMO.

Ein Precoding-Prozess ist grundsätzlich eine Multiplikation von dem BF-Weighting mit den Nutzer-Datensymbolen. Ein Precoder verwendet BF-Weighting, welche Sendeleistungs-Amplituden und Phasen für jedes Sub-Array enthalten. Auch eine vektorielle Komponente ist in ihnen enthalten. Mit Hilfe von BF-Weighting kann eine Antenne elektronisch so gesteuert werden, in die gewünschte Richtung zu senden, in dem die Sendeleistung in die anderen Richtungen unterdrückt wird.

Um einen oder mehrere Beams in Richtung UE zu senden, ist es nötig, dass die BS die BF-Weightings für jedes Sub-Array weitblickend bestimmt um ein präzises BF zu generieren. Um effiziente Precoder zu designen, ist es wesentlich, ein Channel-State-Information-Signal (CSI) mit hoher Auflösung vom UE zur BS zu senden. Es gilt: Je weniger Information im CSI verfügbar, desto weniger Komplexität wird der Prozess beinhalten können.

Es gibt unterschiedliche Precoder, beispielsweise: Grid of Beamforming (GoB), Zero Forcing (ZF), Maximum Ratio Transmission (MRT) und Minimum Mean Squared Error (MMSE).

Die letzten drei gelisteten sind lineare/reziproke Precoder. Sie verlangen ein CSI mit hoher Auflösung, damit die BS die Precoder-Matrix in sehr hoher Qualität berechnen kann. Die BF-Precoder-Matrix (lat. matrix (matricis) = Muttertier, Gebärmutter, Stammutter) ist ein komplexer Baustein, in dem das BF generiert wird, mit einfachen Worten ausgedrückt, stellt es eine Art Drucker-Matrize dar. Einen kleinen Fehler im CSI kann einen signifikanten negativen Einfluss auf die Performance der reziproken Precoder ausüben. Man erkennt ein Precoder-Typ anhand von den glatten Richtdiagrammen. Sie weisen eine kontinuierliche Umhüllungslinie auf, sie erinnert an eine Kreislinie.

Im Gegensatz ist ein GoB-Precoder ein Codebook basiertes Verfahren, welches die prädefinierten Codebooks (Drucker-Matrizen) für die horizontalen und vertikalen Antennen-Array-Konfigurationen verwendet. Sie benötigen weniger Informationen über die Qualität des Traffic Beam als die reziproken Precoder. Gemäss dem Inhalt des CSI, welches vom UE an die Radiostation gesendet wird,

wählt eben die BS aus der vordefinierten 3GPP-Liste aus. Man erkennt die Betriebsart an den diskreten Richtdiagrammen. Sie weisen eine wellenförmige Umhüllungslinie auf.

Um eine BS mit einem UE zu konnektieren, ist ein Beam Management erforderlich. Als erstes wird mit dem Beam-Sweeping ein räumliches Gebiet mit dem Broadcast-Beam versorgt, damit innerhalb dieser Region ein UE mit der Basisstation oder vice versa kommunizieren kann. Dabei wird mit dem Beam-Measurement die Signalqualität gemessen und überwacht. Die Beam-Determination dient zur Auswahl des passenden Beams bzw. zum Wechsel auf einen der dynamischen Situation angepassten Beams. Dazu wird ein Beam-Reporting eingesetzt, welches die Zustände des Beams zwischen der BS und dem UE austauscht. Last but not least, mit dem Beam-Switching-And-Recovery-Process wird bei einem nicht richtig funktionierenden Link oder bei einem Unterbruch einen neuen Beam etabliert.

Der Begriff Precoding bezieht sich mehr auf die Software-Implementation innerhalb der Informationstheorie. Der Ausdruck BF bezieht sich hingegen mehr auf die Hardware-Implementation und der Antennen-Konfigurationen in einem Übertragungssystem. Von Precoding spricht man auf der Senderseite, währendem man von BF auf der Sender- wie auch auf der Empfängerseite sprechen kann.

Antennendiagramm und Korrekturfaktor sowie Leistungsbegrenzer für massive MIMO-Systeme

Mit einem Antennendiagramm wird die Richtcharakteristik für einen Betriebsmodus einer Antenne transparent dargelegt. Es stellt die relative Intensität der Energieabstrahlung in Abhängigkeit von der Richtung zur Antenne dar. In einem Faraday-Käfig (Labor) wird dazu eine Antenne gegenüber einer Referenzantenne (isotroper Strahler) ausgemessen.

Bei einer konventionellen Antenne (2G bis 4G) ist der Betriebsmodus durch die Konstruktion des Antennenarrays definiert. Je nach geometrischer Anordnung der vertikal gestockten Dipole ergibt sich die vertikale Bündelung, dasselbe gilt für die geometrische schmale Reihenanordnung der Dipole für die horizontale Sektor-Bündelung. Der erzeugte Beam ist aber konstant in der Richtung sowie der Form, solange der elektrische Tilt oder andere technische Feinheiten nicht appliziert werden.

Auch eine 5G-Antenne dokumentiert dasselbe "starre" Abstrahlverhalten, wenn nur die vertikalen und horizontalen Sub-Arrays ohne die integrierten Verstärker (Weighting -Vektoren) verwendet werden. Bei adaptiven Antenne sind die Sub-Arrays aber in mehr als zwei Spalten und zwei Zeilen ("Antennenarrays") gegliedert. Dies entspricht einer nicht adaptiven Betriebsart einer 5G-Antenne.

Um für aktive adaptive 5G-Antennen ein akkurates Strahlungsdiagramm zu erhalten, sind bei der Ausmessung im Labor alle gewünschten Betriebsmodi (Reziproker- oder Codebook-BF-Precoder) mit der vollen Auslastung der integrierten Weithing-Vektoren (Sub-Array-Verstärker) zu betreiben. Die unterschiedlichen Betriebs-Arten sind in einem umhüllenden Antennendiagramm zu dokumentieren.

Die praktische Generierung der Antennendiagramme auf diese Art und Weise ist sehr konservativ. Sie überschätzt die realen Situationen. Im Labor sind z.B. keine Hindernisse zwischen der Antenne und der Messsonde vorhanden. Auch werden Beams generiert (allenfalls mit der Präkonfiguration, das in jede Richtung die maximale Leistung des massive MIMO-Funksystems nur über einen einzelnen Beam mit hohem Gewinn abgestrahlt wird), die in der Praxis nicht oder sehr selten auftreten. Bei Mehrfachausbreitung von Traffic-Beams teilt sich z.B. die Sendeleistung auf die verschiedenen Ausbreitungswege auf.

Eine zusätzliche Einschränkung der maximalen Sendeleistung beruht bei der umweltschutzrechtlichen NIS-Berechnung auf dem geringen Anlagegrenzwert (AGW). Die Feldstärke wird mit folgender Formel berechnet:

$$E = \frac{7}{d} * \frac{\sqrt{ERP}}{\sqrt{\text{Gewinn} * \text{Dämpfung}}}$$

E, Feldstärke (nicht grösser als der AGW, 5 V/m)

ERP, Sendeleistung

d, Distanz Antenne zu OMEN

Gewinn, Antennengewinn (0dB=1, voller Gain) oder Richtungsabschwächung (15dB=31.62)

Dämpfung, Gebäudehülle (15dB=31.62)

Mit der Formulierung ist leicht nachvollziehbar, dass die "maximale" Sendeleistung verhältnismässig zur Grösse des AGW steht.

Durch statistische Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass aufgrund der Anzahl der Nutzer die tatsächlichen Leistungen auf mehrere Beams verteilt wird und die Leistung je Beam meist deutlich kleiner als sie maximale Leistung ist. Aus diesem Grund kann mit einem Korrekturfaktor der übermässigen Einschränkung entgegengewirkt werden. Ein Korrekturfaktor ermöglicht es, dass die Antennen temporär mit höherer Sendeleistung betrieben werden dürfen. Integriert man in das massive MIMO-Funksystem eine automatische Leistungsbegrenzung, kann damit sichergestellt werden, dass über 6 min gemittelt der AGW trotzdem eingehalten wird.

Bewilligung versus Betrieb eines massive MIMO-Systems

Abschliessend wird auf die Relation zwischen der umweltschutzrechtlichen Prüfung und dem umweltschutzrechtlichen Betrieb eines massive MIMO-Systems eingegangen.

Wie gezeigt wurde, wird ein Antennendiagramm erzeugt, indem die Antenne in einem Labor ausgemessen wird. Alle Betriebsmodi werden in ein umhüllendes Antennendiagramm integriert, welches einem Worst-Case-Fall entspricht.

Dieses Worst-Case Antennendiagramm wird herangezogen für die umweltschutzrechtliche Deklaration der zu erwartenden Strahlenbelastung in einem realen Lebensbereich. Mittels Standortdatenblatt wird der Behörde dargelegt: welcher Antennentyp (Richtdiagramm) verwendet wird, wo sich die Antennen im geometrischen Raum befindet, wie sie ausgerichtet ist, und mit welcher Sendeleistung sie die NIS-Grenzwerte einhalten kann.

Beim Betrieb einer Antenne in dieser realen Lebenswelt sind dann die beim Bewilligungsverfahren deklarierte Parameter einzuhalten. Das heisst: die bewilligte Antenne, am richtigen Ort mit der passenden Ausrichtung mit der bewilligten Sendeleistung sind massgebend. Folgerichtig ist ebenfalls der zum Richtdiagramm passende Betriebs-Modus bzw. massgebende Betriebszustand zu applizieren.

Wenn bei einer adaptiven Antenne ein Korrekturfaktor aktiviert wird, ist die automatische Leistungsbegrenzung als zusätzliche Betriebsfunktion anzuschalten.

Zu den Einwendungen

Qualitätssicherungssystem (QSS)

Die BAKOM hat am 8. Juli 2021 ein Validierungszertifikat für das QSS auf der BAFU-Internetseite veröffentlicht. Die Validierung fand am 22. Juni 2021 statt. Darin wird bestätigt, dass die neuen Parameter gemäss dem Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugsempfehlung zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, BUWAL 2002 (Nachtrag 2021 zur Vollzugsempfehlung) für adaptiven Antennen im QSS impliziert sind.

Zudem hat das BAKOM ebenfalls am 8. Juli 2021 ein Validierungsbericht für die automatische Leistungsbegrenzung publiziert. Die Testmessungen wurden am 8. Juni 2021 durchgeführt. Der Bericht ist auf der BAKOM-Internetseite verfügbar.

QSS-Funktion:

Ein Antennen-Diagramm ist von dem Betriebs-Modus abhängig. Ein Betriebs-Modus ist nicht vom Antennen-Diagramm abhängig. Das bedeutet, dass im Betriebs-Modus das Antennendiagramm impliziert ist.

Mit einem spezifischen Betriebs-Modus wird das Antennendiagramm erzeugt. Wenn eine Antenne mit diesem Betriebs-Modus arbeitet, werden die Feldstärken, welche mit diesem Diagramm in der umweltschutzrechtlichen NIS-Prognose berechnet werden, eingehalten. Es sind nur die OMEN im Nahfeld (ca. 115 m) zu untersuchen, OMEN die weiter entfernt sind, kann man in Bezug auf die Einhaltung des AGW als unkritisch betrachten (Fading).

Wenn also eine projektierte adaptive Antenne auf der projektierten Höhe und mit der projektierten Ausrichtung (Azimut und Tilt) installiert wird, und zudem der projektierte Betriebs-Modus inklusive Sendeleistung gewählt wird, dann werden die in der NIS-Prognosen ausgewiesenen Feldstärken eingehalten.

Mit der Applizierung eines Korrekturfaktors wird der AGW im 6 Minuten-Mittel eingehalten. Dazu ist aber die automatische Leistungsbegrenzung einzuschalten.

Das Qualitätssicherungssystem (QSS) vergleicht die projektierten Sendeparameter mit den Betriebsparametern um allfällige Abweichungen festzustellen. Wenn solche beispielsweise durch Bedienungsfehler auftreten, ist ein Fehler innerhalb von 24 Stunden zu beheben. Alle 2 Monate werden die Kantone über die aufgetretenen Abweichungen und deren Behebung informiert.

Abnahmemessung

Das METAS hat am 18. Februar 2020 den technischen Bericht: Measurement Method for 5G NR Basestation up to 6 GHz, kommuniziert. Danach die korrektionierte Revision 2.1 datiert vom 20. April 2020 veröffentlicht. Gleichen Tags hat das METAS den Bericht sodann auch in die deutsche Sprache transkribiert. Am 30. Juni 2020 hat das METAS, auf Wunsch einiger Kantone, noch zusätzliche Erläuterungen publiziert. Für das Messgerät Narda SRM 3006 ist für codeselektive Abnahme-Messungen seit dem 17. Dezember 2021 die aktuelle Software-Versionen 1.6.2 in Gebrauch (nach 1.6.0 und 1.6.1).

Antennendiagramm

Im bestrittenen Ausbau mit StDB Swisscom / OBFR, Rev: 1.11; datiert vom 23. 4. 2021 wird ein BF mit Korrekturfaktor ausgewiesen. Das dem Kanton vorgelegte StDB Version 1.11 enthält die logarithmischen Antennendiagramme. Beim StDB Version 1.10 wurde durch den Kanton mittels Unterlagenergänzung die Richtdiagramme nachgefordert. Aktuell ist Version 1.11.

In der Tat kann eine adaptive Antenne, gemeint ist die Hardware, unterschiedlich "bespielt" werden. Dadurch kann dieselbe adaptive Antenne unterschiedliche umhüllende Richtdiagramme aufweisen. Bei einem Worst-Case-Diagramm, welches alle verfügbaren massgebenden Betriebs-Modi abbildet, können sich von der Form her "breiter" ausbilden. Es muss ja jeder mögliche Fall darin impliziert sein. Wenn aber die angedachte Anwendung der adaptiven Antenne modifiziert wird, also anders "bespielt" wird, ist nur eine eingeschränkte Anzahl von Betriebs-Modi abzubilden. Die Umhüllungsform kann sich darum novellieren.

Wenn eine solche Änderung wesentlich ist, das heisst die Bagatellkriterien gemäss BPUK-Empfehlung 2013 bzw. 1. April 2022 nicht eingehalten werden, ist ein ordentliches Bewilligungsverfahren durchzuführen. Wenn die Bagatellkriterien erfüllt werden, ist ein Bagatellverfahren durchzuführen.

Korrekturfaktor

Seit dem 1. Januar 2022, Anhang 1 Ziffer 62 Absatz 5bis gilt die Aktivierung bzw. die Nutzung eines Korrekturfaktors gemäss Ziffer 63 Absatz 2 als keine Änderung gemäss der NISV. Die Betreiber haben den Behörden im Meldeverfahren deren Aktivierung mit einem StDB kundzutun.

Insbesondere ist weder ein ordentliches noch ein einfaches Bewilligungsverfahren durchzuführen. Auch ein Bagatellverfahren ist dafür nicht nötig.

Sendeleistung

In einer umweltschutzrechtlichen NIS-Prognose wird mit Hilfe eines Antennendiagramms die maximale Sendeleistung eruiert. Der geometrische Ort der Antenne inklusive ihrer Ausrichtung und der Ort der empfindlichen Nutzung bzw. die Distanz zwischen ihnen ist essenziell. Allfälligen Gebäudedämpfungen und der Antennengewinn ebenfalls. Wenn nicht der volle Antennengewinn zum Tragen kommt, wird aus dem Richtdiagramm die Richtungsabschwächung herausgelesen. Auch der Anlagegrenzwert ist durch die NISV geregelt. Das Ergebnis der NIS-Prognose besteht aus zwei Komponenten: 1. Der Anlagegrenzwert wird eingehalten. 2. Er wird mit welcher Sendeleistung (ERP) eingehalten? Diese Sendeleistung hat nichts mit der maximalen thermischen Sendeleistung der Antennenhardware oder der maximalen systemischen Sendeleistung zu tun. Die eruierte ERP-Sendeleistung wird durch den AGW kleiner ausfallen, als das Antennen-System zulassen würde.

Diese umweltschutzrechtlich bewilligte ERP-Sendeleistung darf auf der Betriebsseite ausgeschöpft werden. Bei passiven Antennen darf die elektrische Sendeleistung der BTS mal den Antennengewinn minus die Feeder-Dämpfung die bewilligte ERP-Sendeleistung nicht überschreiten.

Bei einer aktiven adaptiven Antenne entfällt die Hohlleiter-Dämpfung (Feeder) weil jedes Sub-Arrays mit dem dazugehörigen integrierten Verstärker (Weighting -Vektoren) in einem Radom eingruppiert ist. Aber auch hier gilt, dass die bewilligte ERP-Sendeleistung konsequent nicht überschritten werden darf. Mit dem QSS wird die Einhaltung der ERP-Sendeleistung überwacht.

Überschreitung der Grenzwerte

OMEN 02:

Mit jedem projektierten bzw. massgebenden Betriebsmodus ist ein Richtdiagramm zu erstellen. Damit wird insbesondere die Richtungsabschwächung dokumentiert. Im Hauptstrahl ist die Richtungsabschwächung 0 dB (Faktor 1) und somit kommt der ganze Antennengewinn zur Wirksamkeit. Alle Richtdiagramme, für jeden Betriebsmodus eines, wird in ein Worst-Case-Diagramm integriert. Die Richtungsabschwächung ist somit in der NIS-Prognose von wesentlicher Relevanz und ist in der NIS-Prognose stringent zu berücksichtigen. Umgekehrt darf die Anlage nur mit einem massgebenden Betriebszustand betrieben werden, welcher im Worst-Case-Diagramm impliziert ist.

Das OMEN 02 wurde im 1. Obergeschoss korrekt berechnet. Im südöstlichen Teil des 2 Familienhauses existiert kein Estrich und weist darum im 1. OG eine hohe Decke auf. Hingegen wurde im nordwestlichen Teil ein Estrich realisiert. Dieser ist aber für die NIS-Prognose irrelevant.

OMEN 05:

Eine NIS-Prognose hat sich auf die aktuelle Nutzung abzustellen. Das neu erstellte Gebäude auf der Parzelle 940 bzw. Gebäude 1358 enthält nur ein Erdgeschoss. Bei einer Nutzungsänderung, beispielsweise durch ein zusätzliches Obergeschoss innerhalb des Gebäudes, ist die neue Nutzung neu zu beurteilen. Dazu ist eine weitere NIS-Prognose auszuarbeiten. Bei einer Überschreitung ist die Anlage so zu redimensionieren, dass der Anlagegrenzwert eingehalten wird. Wenn die NIS-Prognose über 80% ausfällt ist zusätzlich eine Abnahmemessung durchzuführen um die NIS-Berechnung zu verifizieren.

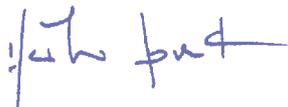
Antrag:

Die in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) festgesetzten Strahlungsgrenzwerte werden beim geplanten Neubauprojekt zu jederzeit eingehalten. **Die umweltschutzrechtlich gestützten Einwendungen sind abzuweisen.**

Hinweis an den Gemeinderat

Gemäss Art. 17 NISV vollziehen die Kantone die Bestimmungen der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV). Somit ist die Gemeinde nicht legitimiert aufgrund von fehlenden oder unklaren Bestimmungen der NISV ein Baugesuch zu sistieren. Der Schriftverkehr im Einwendungsverfahren ist somit abgeschlossen, das Geschäft kann dem Gemeinderat zum Entscheid vorgelegt werden.

Freundliche Grüsse



Heiko Loretan
Sektionsleiter